



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
CAMPUS II-AREIA-PB

NÚBIA DA SILVA

**DINÂMICA DE GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLANKTON EM LAGOS COM
DIFERENTES ESTADOS DE EQUILÍBRIO.**

Areia - PB

2016

NÚBIA DA SILVA

**DINÂMICA DE GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLANKTON EM LAGOS COM
DIFERENTES ESTADOS DE EQUILÍBRIO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr. Luciana Gomes Barbosa

Co-orientador: Dr. Ênio Wocyli Dantas

Areia – PB

2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S586d Silva, Núbia da.

Dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton em lagos com diferentes estados de equilíbrio. / Núbia da Silva. - Areia: UFPB/CCA, 2016.

791 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientadora: Luciana Gomes Barbosa.

Coorientador: Ênio Wocyli Dantas

1. Fitoplâncton 2. Macrófitas 3. Eutrofização I. Barbosa,
Luciana Gomes II. Ênio Wocyli Dantas III. Título.

UFPB/CCA

CDU: 556.55 (043.3)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
CAMPUS II – AREIA-PB

TÍTULO: “DINÂMICA DE GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLANCTON EM LAGOS COM DIFERENTES ESTADOS DE EQUILÍBRIO”

AUTOR: NÚBIA DA SILVA

JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADA

EXAMINADORES:

Dra. Luciana Gomes Barbosa
Presidente da comissão examinadora

Dra. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva
Examinador externo

Dr. Leonardo Pessoa Felix
Examinador interno

Areia - PB, 31 de agosto de 2016

Aquela que na sua simplicidade soube transmitir o verdadeiro sentido do cuidado, da paciência, da perseverança e do amor para ir além: Minha eterna heroína, minha mãe, Zélia Maria (in memorian), exemplo de força e luta.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

GRATIDÃO essa é a palavra que melhor expressa o sentimento que envolve esse momento ímpar.

O mestrado me fez enxergar novos horizontes e como tudo que é novo nos deixa um pouco receiosos, comigo não foi diferente... Aquela moça que trabalhou mais de 2 anos com Etnobotânica, foi aceita pela Professora Luciana a qual lhe apoiou em fazer a seleção em agosto de 2014, lembro-me como hoje a defesa do projeto pra banca (uma das etapas de avaliação da seleção), os membros avaliadores me questionando sobre o trabalho, e eu? Super segura para falar de questões relacionadas a Etno, porque da limnologia eu não tinha propriedade prá falar até então. Foi a partir daí que tudo começou, entre idas e vindas, entre dúvidas e incertezas, encarei esse novo desafio... Abraçar uma nova área e que por sinal muito mais complexa do que imaginei... Trabalhar com água, e mais ainda Algas, organismos tão minúsculos e ao mesmo instante tão complexos, porém fascinantes!

Nessa caminhada tive a oportunidade de conhecer pessoas que muito me ensinaram cada qual da sua maneira, seja com palavras, atitudes, mas que foram essenciais em minha trajetória: minha orientadora professora Luciana, agradeço pelo acolhimento, paciência e conselhos. Aos meninos laboratório: João, Joseilson (Kika), Emanuel, Normand, Jânio, Rafael, Gean, Cristina, obrigada pelo apoio nas coletas, análises e pela amizade que construímos ao longo desses dois anos. Ao grupo do fitoplâncton: Dany, Kelly, Lidiane, Karine, Marcela, Taty, Islânia, Fátima e também as novatas do lab Verônica e Nohanna muito obrigado meninas pela ajuda em todos os momentos que precisei, pelos momentos de descontração no laboratório, aprendi muito com cada uma de vocês! Dany e Kelly o pouco que sei eu devo também a vocês obrigada por tudo!!

Ao Programa de Pós- Graduação em Biodiversidade (PPGBIO), toda a equipe de professores (excelentes profissionais): Ênio, Célia, Bráulio, Naysa, Leonardo, Maílson, Alexandre, Helder, sintam-se todos agradecidos! A minha turma PPGBIO (Samara, Wilde, Caio, Paulo, Leonardo (coisinha, tu é show) e Thalyta... Ow turma boa!! Por falar em boa, não poderia deixar de falar da minha companheira e amiga Thalyta (Tatá) a menina que sempre tá de boa...eita! que com ela aprendi a ser de “boa”, a dar risada mesmo nos momentos mais difíceis...obrigado Tatá por tudo e principalmente por ser tão brincalhona!

Aos novos integrantes do PPGBIO: Leonardo, Sibelle, Tamires, Dany, Ítalo e Júnior obrigado pelos laços de amizade que construímos, vocês são 10!!

Agradeço a compreensão dos meus professores da licenciatura pelas vezes que fui ausente nas aulas, mas sempre me entenderam e me incentivaram: Betânia, Ângela, Wilson, Péricles e Andréia. As amigas que moram comigo: Ione, Leiny e Rosane obrigada pelo apoio, atenção e amizade. Aos amigos da licenciatura em Biologia: Sônia, Otávio, Rosângela, Mery, Aline, Mércia, Rogério e os demais muito obrigado pela amizade e atenção.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.

Aos meus amigos que nem o tempo, nem a distancia me fazem esquecer: Gleicy, Shaieny e Rodrigo, obrigado por se fazerem presentes na minha vida e desculpe-me as ausências.

Um agradecimento especial vai para minha família, a minha essência, aos ensinamentos que obtive dos meus pais: Assis e Zélia (in memoriam) que tanto me apoiaram em minhas escolhas. Aos meus irmãos: Carlos, Noelza, Sandra, Solange, Alexsandra, Ailton e Alex (in memoriam), enfim, a toda minha família meu muito obrigado por tudo! Ao meu namorado Adilson, por sempre ser um exemplo de profissional e ser humano, sempre atencioso, disponível e, sobretudo compreensível!

A DEUS que sempre esteve comigo, toda honra e toda glória sejam dadas a ti Senhor!

*“A vida tem lá seus momentos turbidos, agitados,
Mas o importante é buscar um estado de equilíbrio
ou vivenciar múltiplos estágios, até que se chegue a
um possível ponto de equilíbrio”.*

(Núbia)

Reflexão para além da Limnologia

RESUMO

Mudanças no estado de equilíbrio de lagos rasos podem ser induzidas por oscilações no nível de água, promovendo modificações no estado trófico, estrutura e dinâmica de comunidades de macrófitas e fitoplâncton. A partir da análise temporal de dois lagos rasos com distintos estados de equilíbrio, o presente estudo teve como objetivos: i) avaliar a estrutura e dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton (GFs) ao longo de um gradiente de cobertura de macrófitas e suas relações com as variáveis ambientais em lago pequeno e raso de águas claras (Paraíba-Brasil) e, ii) avaliar a composição e estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em lagos com diferentes estados de equilíbrio (águas claras e águas turbidas). As principais perguntas associadas foram: i) Existem diferenças na composição e estrutura de GFs em gradiente de cobertura macrófitas? e, ii) A composição e estrutura dos grupos funcionais respondem as diferenças na estrutura e estados de equilíbrio dos lagos rasos? Coletas de água foram feitas para análise física, química e biológica no período de agosto 2014 a junho 2015. No lago águas claras (Santa Lúcia) os valores de transparência foram altos (≥ 1) em todo o período estudado, o pH manteve-se alcalino, as temperaturas variaram entre 27°C a 34 °C. Foram verificadas diferenças temporais nas variáveis limnológicas apenas em 2015, enquanto na escala espacial a biomassa total não mostrou diferença significativa ($p \geq 1$). No entanto, a composição específica dos GFs respondeu a alta heterogeneidade ambiental presente (expressa pela cobertura de macrófitas) indicando flutuação espaço-temporal na composição indicada pela análise de correspondência canônica (CCA). A CCA mostrou que o pH ($\leq 0,05$), a temperatura da água ($\leq 0,01$), fósforo total ($\leq 0,07$) e ortofosfato ($\leq 0,05$) influenciaram a dinâmica de grupos funcionais **N, K, S1, X1, W2, TD, SN, P**. O lago de águas turbidas (Lagoa do Paó) apresentou valores muito baixos de transparência e zona eufótica (≤ 1), indicadores de limitação por luz, e altos valores de fósforo revelando o potencial de eutrofização. Esse cenário contrastante com Santa Lúcia indicou estrutura e composição dos grupos funcionais distintos, com apenas cinco grupos funcionais comuns: **K, S1, X1, W2 e P**. Entre os grupos funcionais exclusivos na Lagoa do Paó alguns foram compostos por cianobactérias potencialmente tóxicas (**SN, F, LO, D, H1**), não encontrados em Santa Lúcia, indicador de que a cobertura de macrófitas submersas pode funcionar como inibidora da dominância dessas espécies. A CCA mostrou uma nítida separação entre os ambientes, estando os grupos **TD, N, W2 e S1** relacionados a Santa Lúcia, típicos de águas claras. Já Lagoa do Paó, o pH, a temperatura, concentrações de fósforo, coeficiente de atenuação de luz influenciaram a ocorrência de **H1, SN, S1, W2, X1, D, LO**, em sua maioria representados por cianobactérias comuns em ambientes eutróficos. Portanto, a estrutura e composição dos grupos funcionais respondeu de acordo com as características dos ambientes estudados, mostrando que lagos rasos com diferentes estados de equilíbrio podem compartilhar grupos funcionais semelhantes. O presente estudo corrobora dados históricos de que a cobertura de macrófitas pode funcionar como controladora de florações de cianobactérias, sendo os possíveis mecanismos associados a alelopatia, a diminuição na ressuspensão do sedimento, a absorção de nutrientes como fósforo, entre outros.

Palavras-chave: águas claras, turbidez, eutrofização

ABSTRACT

Changes in the equilibrium state of shallow lakes can be induced by in water level fluctuations, promoting changes in the trophic state, structure and dynamics of macrophytes and phytoplankton communities. From the temporal analysis of two shallow lakes with different equilibria, this study aimed to: i) evaluate the structure and dynamics of functional phytoplankton groups (FGs) over a macrophyte cover gradient and its relations with environmental variables in small and shallow lake of clear water (Paraíba, Brazil), and ii) to evaluate the composition and structure of phytoplankton functional groups in lakes with different equilibrium states (clear water and turbid water). The main questions associated were: i) There are differences in the composition and structure FGs in macrophyte coverage gradient? and ii) the composition and structure of functional groups account the differences in the structure and equilibrium states of shallow lakes? Water samples were collected for analysis physical, chemical and biological from August 2014 to June 2015. In the lake clear water (Saint Lucia) transparency values were high (≥ 1) throughout the study period, the pH is kept alkaline, temperatures ranged from 27°C to 34°C. It was verified temporal differences in limnological variables only in 2015, while the spatial scale the total biomass showed no significant difference ($p \geq 1$). However, the specific composition of FGs responded to this high environmental heterogeneity (expressed by macrophyte cover) indicating spatiotemporal fluctuations in the composition indicated by the canonical correspondence analysis (CCA). CCA showed that the pH ($\leq 0,05$), water temperature ($\leq 0,01$), total phosphorous ($\leq 0,07$) and orthophosphate ($\leq 0,05$) influencing the dynamics of functional groups **N, K, S1, X1, W2, TD, SN, P**. The lake turbid waters (Lagoon Pao) showed very low levels of transparency and photic zone (≤ 1), by light limitation indicators, and high phosphorus values revealing the potential for eutrophication. This scenario contrasts with Saint Lucia indicated structure and composition of the different functional groups, with only five common functional groups: **K, S1, X1, W2** and **P**. Among the unique functional groups on the Lagoon pao some were composed of potentially toxic cyanobacteria (**SN, F LO, D H1**) not found in Santa Lucia indicator that the submerged macrophyte cover can function as an inhibitory dominant these species. The CCA showed a clear separation between the environments, with the **TD** group, **N, W2** and **S1** related to St. Lucia, typical of clear water. Already Pond Pao, pH, temperature, concentrations of phosphorus, light attenuation coefficient influenced the occurrence of **H1, SN, S1, W2, X1, D, LO**, mostly represented by common cyanobacteria in eutrophic environments. Therefore, the structure and composition of said functional groups according to the characteristics of the environments studied, showing shallow lakes with different equilibrium states can share similar functional groups. This study confirms the historical data macrophyte cover can operate as cyanobacteria controller, and possible mechanisms associated allelopathy, the decrease in the pellet resuspension, the absorption of nutrients such as phosphorus, among others.

Keywords: clear water, turbidity, eutrophication

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Dinâmica Espaço-temporal do Fitoplâncton em lago raso tropical de Águas Claras

Tabela 1. Valores Médios das Variáveis analisadas no Lago Santa Lúcia, Araçagi-PB.....	33
Tabela 2. Lista dos táxons registrados no lago Santa Lúcia no período de agosto de 2014 a junho de 2015.....	35
Tabela 3. Resumo da Análise de Correspondência Canônica (CCA) entre os grupos funcionais fitoplanctônicos e as variáveis ambientais do lago Santa Lúcia no período de agosto 2014 a junho 2015.....	39

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Composição e Estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em dois lagos rasos com diferentes estados alternativos

Tabela 1. Resumo da Análise de Correspondência Canônica indicando os coeficientes de correlação entre os grupos funcionais e as variáveis ambientais do Lago Santa Lúcia no período de agosto de 2014 a junho de 2015.....	54
---	-----------

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Dinâmica Espaço-temporal do Fitoplâncton em lago raso tropical de Águas Claras

Figura 1. Localização do ecossistema em estudo no município de Araçagi- PB e seus respectivos transsectos no lago Santa Lúcia.....	28
Figura 2. Precipitação total mensal (mm) e temperatura do ar (°C) no município de Araçagi- PB no período e agosto de 2014 a junho de 2015.....	32
Figura 3. Contribuição dos grupos funcionais fitoplanctônicos com mais de 10% de biomassa total no lago Santa Lúcia de agosto/14 a junho/15.....	34
Figura 4. Análise de Correspondência Canônica (CCA) das unidades amostrais do Lago Santa Lúcia gerados a partir de sete variáveis abióticas e onze grupos funcionais da comunidade fitoplanctônica.....	40

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Composição e Estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em dois lagos rasos com diferentes estados alternativos

- Figura 1.** Localização dos municípios de Araçagi e Alagoa-Grande (Paraíba/Nordeste do Brasil), em destaque a lagoa do Paó e o lago Santa Lúcia..... **56**
- Figura 2.** Precipitação pluviométrica registrada nos municípios de Araçagi e Alagoa-Grande durante o período de agosto 2014 a junho 2015.....**60**
- Figura 3.** Variação Sazonal da transparência, zona eufótica e profundidade máxima igual a profundidade de mistura em Santa Lúcia(A) e Lagoa do Paó (B).....**61**
- Figura 4.** Concentrações de fósforo total registrados nos dois ambientes de agosto 2014 a junho 2015.....**62**
- Figura 5.** (A e B) Grupos Funcionais descritores com biomassa >5%, em (A) Santa Lúcia e em (B) Lagoa do Paó.....**63**
- Figura 6.** Análise de Correspondência Canônica (CCA) das unidades amostrais dos lagos Santa Lúcia e Lagoa do Paó, geradas a partir de oito variáveis abióticas e treze grupos funcionais da comunidade fitoplanctônica em ambos locais.....**65**

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
REFERÊNCIAS.....	19
CAPÍTULO 1.....	22
Dinâmica espaço-temporal do fitoplankton em lago raso tropical de águas claras.....	23
ABSTRACT.....	24
RESUMO.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.1 Área de estudo.....	27
2.2 Amostragem.....	28
2.3 Parâmetros limnológicos.....	29
2.4 Cobertura de macrófitas submersas.....	29
2.5 Fitoplâncton.....	30
2.6 Análise dos dados.....	31
3. RESULTADOS.....	31
4. DISCUSSÃO.....	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6. AGRADECIMENTOS.....	42
7. REFERÊNCIAS.....	43
CAPÍTULO 2.....	50
<i>Composição e Estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos e dois lagos rasos com Diferentes estados alternativos.....</i>	<i>51</i>
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
1. INTRODUÇÃO.....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	55
2.1 Caracterização da área de estudo.....	55
2.2 Amostragem.....	57
2.3 Parâmetros Biológicos.....	58
2.4 Análise dos dados.....	60
3. RESULTADOS.....	60
4. DISCUSSÃO.....	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
6. AGRADECIMENTOS.....	69
7. REFERÊNCIAS.....	69
8. ANEXO.....	74

INTRODUÇÃO

Lagos rasos são considerados os ecossistemas mais vulneráveis às pressões antrópicas Izaguirre *et al.*,(2012) associadas atualmente à entrada de fontes difusas como esgotos industriais e domésticos, ao uso de fertilizantes na agricultura, à alta demanda hídrica, somado a períodos de longa estiagem, contribuindo no avanço da eutrofização, acúmulo de nutrientes como fósforo e nitrogênio (Cruz *et al.*,2013; Janssen *et al.*, 2014) e mudanças no funcionamento dos ecossistemas continentais (Pinto e O'Farrell,2014).

Essas mudanças vêm sendo enfatizadas pela limnologia nas últimas décadas, revelando a possibilidade de existir mais de um estado de equilíbrio nos ecossistemas, originando estados alternativos estáveis (Scheffer e Van Nes, 2007; Sánchez *et al.*, 2015). Estados alternativos em lagos rasos estão relacionados com a transparência da água ou turbidez e, por conseguinte com os níveis de interações tróficas em cascata no ecossistema (Izaguirre *et al.*,2012).

Pesquisas atuais enfatizam que a presença de macrófitas promove um efeito benéfico no corpo d'água, por atuarem na redução dos nutrientes, promovendo a sedimentação e inibindo o crescimento de algas por meio da alelopatia (Hilt, 2015). Estado de águas claras possibilitam o desenvolvimento e sucessão da vegetação submersa proporcionando condições oligo-mesotróficas, alta estabilidade entre níveis tróficos, evitando a elevada abundância de cianobactérias e, por sua vez, favorecendo a saúde ambiental (Ferreira Júnior *et al.*, 2010; Scheffer e Van Nes, 2007).

No entanto, o conceito de estado estável é uma simplificação de uma realidade mais complexa, em lagos rasos a alternância entre estados claros e turbidos, depende das interações de vários fatores tais como, macrófitas, fitoplâncton, níveis hidrométricos, concentrações de nutrientes, magnitude das perturbações (Sánchez *et al.*,2015), tamanho e conectividade interna do corpo hídrico (Janssen *et al.*,2014). Além disso, a profundidade, a temperatura, o vento e a radiação, também atuam como elementos importantes na estrutura e dinâmica espaço-temporal entre macrófitas submersas e fitoplâncton (Costa e Dantas, 2011).

Estudos comprovam que a presença de macrófitas reduz a biomassa do fitoplâncton, devido a competição por nutrientes como nitrato, fosfato e carbono inorgânico dissolvido (Donk e Bund, 2002), aumentando a biomassa de zooplâncton, pois estes utilizam macrófitas como refúgio de seus predadores (Hilt, 2005). Emitindo aleloquímicos que afetam a

abundância do fitoplâncton, desempenhando assim função reguladora na estrutura ecológica do ecossistema (Blindow *et al.*, 2014).

O acúmulo de matéria orgânica dissolvida e suspensa em decomposição, provenientes de fontes externas e internas, afeta potencialmente ambientes rasos, impedindo a entrada de luz e a coexistência de macrófitas submersas (Ferreira Júnior *et al.*, 2010). A produção primária torna-se impossibilitada de aumentar, levando assim a um estado turbido promovendo uma diminuição na riqueza de espécies de fitoplancton devido à alta turbidez (Lischke *et al.*, 2014). Também a decomposição da vegetação submersa atua como fonte de nutrientes e carbono, influenciando todo o metabolismo heterotrófico e fotossintético dos lagos, e sob ação do vento ou qualquer outra perturbação, promovem a retroalimentação (Ferreira Júnior *et al.*, 2010).

Para que um lago de águas túrbidas volte a apresentar características de águas claras, é preciso que a concentração de nutrientes se mostre bem abaixo do nível em que se deu o colapso das macrófitas, permitindo a resiliência do ambiente e o estabelecimento de um novo estado de equilíbrio (Ferreira Júnior *et al.*, 2010).

O fitoplâncton compõe a comunidade base da teia trófica dos ambientes aquáticos, apresenta-se como bom descritor das variações ambientais que permeiam o ambiente aquático, uma vez que são organismos pequenos, porém com rápido ciclo de vida e sensíveis a mudanças no ambiente sejam elas, físicas, químicas ou ecológicas (Brasil e Huszar, 2011). As flutuações do fitoplancton em diferentes ecossistemas são reguladas pelas variáveis ambientais, algumas assumem maior relevância tais como, precipitação, flutuação no volume de água e o vento, refletindo-se no ciclo das populações fitoplanctônicas (Costa e Dantas, 2011).

Lagos de águas claras e túrbidas apresentam comunidades fitoplanctônicas distintas (Blindow *et al.*, 2014). Algas nano-fitoplanctônicas, com flagelos são mais comuns em lagos de águas claras, enquanto alguns representantes de Cyanobacteria formam florações que chegam a ser tóxicas, típicas de ambientes túrbidos (Sánchez *et al.*, 2015). A caracterização de espécies segundo o seu papel funcional, leva a conhecer quais fatores governam a sua dinâmica, sendo a aplicação ao modelo de grupos funcionais eficaz na distinção entre ecossistemas claros e túrbidos (Crossetti *et al.*, 2013), permitindo obter previsões confiáveis sobre a comunidade fitoplanctônica (Reynolds, 2002).

O método de classificação por grupos funcionais é representado por códigos alfanuméricos e tem sido utilizado como uma ferramenta importante em agrupar espécies de fitoplâncton que respondam de forma similar às condições ambientais, selecionando em

grupos polifiléticos (Reynolds *et al.*, 2002). A partir do potencial das espécies, sua reprodução e sobrevivência, considerando aspectos morfológicos (tamanho, a forma), aerótopos, espinhos, formações de colônias, número de células e formação de estruturas silicosas. Atualmente a abordagem conta com 40 grupos funcionais (Pádisak *et al.*, 2009).

Esse tipo de abordagem exclui problemas de acuracidade na identificação das espécies (Salmaso e Padisák, 2007). Flagelos e aerótopos são traços morfológicos interessantes, pois possibilitam que algumas espécies selecionem a profundidade adequada para sua própria fotossíntese (Kruk *et al.*, 2010). Caracteres fisiológicos (composição e concentração de pigmentos provenientes da fotossíntese, aptidão para fixar nitrogênio, produzir toxinas), aspectos comportamentais (motilidade, mixotrofia) e história de vida, potencial reprodutivo e estágios de dormência, são também traços funcionais que interferem na dinâmica do corpo aquático, e na coexistência de determinadas espécies (Brasil e Huszar, 2011, Izaguirre *et al.*, 2012).

Abordagens em traços funcionais têm despertado em muitos ecólogos e pesquisadores a necessidade em compreender o funcionamento dos ecossistemas aquáticos bem como a dinâmica temporal de grupos funcionais fitoplanctônicos (Reynolds *et al.*, 2002; Reynolds, 2006). As condições ambientais associadas a esses grupos tem possibilitado indicar o estado ecológico e os níveis de eutrofização, bem como a mudança de estados alternativos principalmente em ecossistemas rasos.

Objetivos gerais

Capítulo 1: Avaliar a estrutura e dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton (GFs) ao longo da cobertura de macrófitas e suas relações com as variáveis ambientais em lago raso de águas claras (Paraíba-Brasil)

Capítulo 2: Avaliar a composição e estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em lagos com diferentes estados alternativos estáveis (águas claras e águas turbidas).

Hipóteses

Capítulo 1

Os fatores abióticos e bióticos podem interferir na biomassa das populações fitoplanctônicas, alterando a dinâmica entre macrófitas e fitoplâncton dentro do sistema.

Pergunta: Existem diferenças na composição e estrutura de GFs em gradiente de cobertura de macrófitas?

Capítulo 2

Grupos funcionais compostos por cianobactérias potencialmente tóxicas são associações típicas de lagos túrbidos e eutrofizados.

Pergunta: A composição e estrutura dos grupos funcionais respondem às diferenças na estrutura e nos estados de equilíbrio dos lagos rasos?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, J.; HUSZAR, V.L.M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, 15 (4): 799-834, DOI: 10.4257/oeco.2011.1504.04, 2011.
- BLINDOW, I.; HARGERBY, A.; HILT, S. Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. **Hydrobiologia**, 737:99–110, DOI: 10.1007/s10750-013-1687-2, 2014.
- COSTA, D.F.; DANTAS, E.W. Diversity of community in different urban aquatic ecosystems in metropolitan João Pessoa, state of Paraíba, Brazil. **Acta Limnológica Brasilensia**, p.394-405, v.223, n.4, <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000018>, 2011.
- CRUZ, P.S.; BARBOSA, L.G.; RODRIGUES, M.L.; LIMA, S.M.S.; CEBALLOS, B.S.O. Grupos Funcionais em mesoambientes com piscicultura: efeitos da eutrofização artificial na dinâmica e estrutura funcional do fitoplâncton. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, p. 27-40, v.8, n 2, ISSN 1981-8203, 2013.
- CROSSETTI, L.O.; BECKER, V.; CARDOSO, L.S.; RODRIGUES, L.R.; COSTA, L.S.; MARQUES-MOTTA, D. Is phytoplankton functional classification a suitable tool to investigate spatial heterogeneity in a subtropical shallow lake? **Limnológica** 43: 157-163, doi:10.1016/j.limno.2012.08.010, 2013.
- DONK, E.V.; BUND, W.J.V. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. **Aquatic Botany**, 72: 261–274, DOI: 10.1016/S0304-3770(01)00205-4, 2002.
- HILT, S. Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. **Limnetica**, 34 (2): 467-480, ISSN: 0213-8409, 2015.

- IZAGUIRRE, I.; ALLENDE, L.; ESCARAY, R.; BUSTINGORRY, J.; PÉREZ, G.; TELL, G. Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human- impacted shallow lakes with different stable states. **Hidrobiologia**, 698: 203-216, DOI 10.1007/s10750-012-1069-1, 2012.
- JANSSEN, A.B.G.; TEURLINCX, S.; AN, SHUQING.; JANSE, J.H.; PAERL, H.W.; MOOIJ, W.M. Alternative stable states in large shallow lakes? **Journal of Great Lakes Research**, 40: 813–826, DOI:10.1016/j.jglr.2014.09.019, 2014.
- JÚNIOR, C.R.F.; MARQUES, D.M.; COLLISCHONN, W.; VAN NES, E. Modelagem Ecológica como Ferramenta Auxiliar para Restauração de Lagos Rasos Tropicais e Subtropicais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, pp15-25, v.15, n.2, ISSN 2318-0331, 2010.
- LISCHKE, B.; HILT, S.; JANSE, J.H.; KUIPER, J.J.; MEHNER, T.; MOOIJ, W.M.; GAEDKE, U. Enhanced input of terrestrial particulate organic matter reduces the resilience of the clear-water state of shallow lakes: A model study. **Ecosystems**, 17: 616–626, DOI: 10.1007/s10021-014-9747-7, 2014.
- KRUK, C.; HUSZAR, V.L.M.; PEETERS, E.T.H.M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LURLING, M.; REYNOLDS, C.S.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**, 55:614–627, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x, 2010.
- PINTO, P.T.; Ó FARRELL, I. Regime shifts between free-floating plants and phytoplankton: a review. **Hydrobiologia**, 740:13–24, DOI: 10.1007/s10750-014-1943-0, 2014.
- REYNOLDS, C.S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **J. Plankton Res**, 24, 417–428, DOI:10.1093/plankt/24.5.417, 2002.
- REYNOLDS, C.S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge University Press, New York. 51 p.2006.

SANCHÉZ, M.L.; LAGOMARSINO, L.; ALLENDE, L.; IZAGUIRRE, I. Changes in the phytoplankton structure in a Pampean shallow lake in the transition from a clear to a turbid regime. **Hydrobiologia**, 752:65–76, DOI: 10.1007/s10750-014-2010-6, 2015.

SCHEFFER, M.; VAN NES, E.H. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. **Hydrobiologia**, 584: 455-466, DOI: 10.1007/s10750-007-0616-7, 2007.

SALMASO, N.; PADISÁK, J. Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and lake Stechlin, Germany). **Hydrobiologia**, 578:97–112, DOI 10.1007/s10750-006-0437-0, 2007.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L.O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, 621, 1–19, DOI 10.1007/s10750-008-9645-0, 2009.

CAPÍTULO 1

**A ser encaminhado para publicação na revista
Acta Limnologica Brasiliensia**

Spatial and temporal dynamic of functional groups of phytoplankton in tropical shallow lake with clear water phase

Dinâmica Espaço-Temporal dos grupos funcionais do fitoplâncton em lago raso tropical de Águas Claras

Núbia da Silva¹, Ênio Wocyli Dantas² e Luciana Gomes Barbosa³

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal da Paraíba – Campus II, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Pesquisas em Limnologia (NULIBA), Rodovia PB-079, Areia - PB, CEP: 58397-000, e-mail: nubiaetnobia@gmail.com.

² Professor Doutor do Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: eniowocyli@yahoo.com.br.

³ Professora Doutora do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – Campus II, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Pesquisas em Limnologia (NULIBA), Rodovia PB-079, Areia - PB, CEP: 58397-000, e-mail: lgomesbarbosa@gmail.com.

Abstract: The functional groups of phytoplankton are known to change in response to certain environmental variables, according to niche preferences. **Objective:** To evaluate the structure and dynamics of functional phytoplankton groups (FGs) over a macrophyte cover gradient and its relations with environmental variables in small and shallow lake of clear water (Paraíba, Brazil). **Methods:** physical analysis, chemical and biological water were made between August 2014 and June 2015 in three points on Lake St. Lucia. Was used Tukey test, Wilcoxon, followed by CCA and Anova. **Results:** transparency was high (≥ 1), alkaline pH ($\leq 0,05$), high temperatures ($\leq 0,01$) and CCA These Showed que Total phosphorus ($\leq 0,07$) and ortho phosphate ($\leq 0,05$) influenced the dynamics of functional groups. Significant differences in the time scale were observed only in 2015 for temperature, dissolved phosphorus and conductivity. Due to the low depth, higher rainfall in 2015 and hydrodynamic processes certainly contributed to the mixing of the water column. Spatial differences of the phytoplankton biomass were not observed by Wilcoxon ($p \geq 0.05$). Eight functional groups were identified: **N, K, S1, X1, W2, TD, SN, S1 and P**. Since, **S1** and **K** persistent in almost every month, associated with species adapted to shading, hot water and alkaline. The typical **N** group of clear water, sensitive to high pH. Thus, biomass and macrophyte cover gradient remained stable temporally and spatially. In contrast, the heterogeneity in the environment was crucial in the structure of the functional groups in response to certain environmental variables and according to their niche preferences, confirmed by canonical correspondence analysis (CCA). **Conclusion:** the functional groups responded to variation in physical, chemical and climatic water, and the pH, temperature and total phosphorus, influencing the structure and composition of phytoplankton.

Keywords: macrophytes, heterogeneity, turbidity, environmental variables.

Resumo: Os grupos funcionais do fitoplâncton são reconhecidos por mudar em resposta a certas variáveis ambientais, de acordo com preferências de nicho. **Objetivo:** avaliar a estrutura e dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton (GFs) ao longo de um gradiente de cobertura de macrófitas e suas relações com as variáveis ambientais em lago pequeno e raso de águas claras (Paraíba-Brasil). **Métodos:** análise física, química e biológica da água foram feitas entre agosto 2014 a junho 2015, em três pontos no lago Santa Lúcia. Utilizou-se teste de Tukey, Wilcoxon, seguido da CCA e Anova. **Resultados:** a transparência foi alta (≥ 1), o pH alcalino ($\leq 0,05$), temperaturas altas ($\leq 0,01$), além destas variáveis a CCA mostrou que o fósforo total ($\leq 0,07$) e ortofosfato ($\leq 0,05$) influenciaram a dinâmica de grupos funcionais. Houve variação temporal com diferenças significativas para a temperatura, fósforo

dissolvido e condutividade, em 2015. Devido a baixa profundidade, maior precipitação em 2015 e processos hidrodinâmicos certamente contribuíram na mistura da coluna d'água. Diferenças espaciais, entre os pontos amostrais quanto a biomassa fitoplanctônica não foram identificados por Wilcoxon ($p \geq 0,05$). Foram identificados oito grupos funcionais: **N, K, S1, X1, W2, TD, SN, P**. Sendo **S1, K** persistentes em quase todos os meses, associados a espécies adaptadas ao sombreamento, águas quentes e alcalinas. O grupo **N** também persistente é típico de águas claras e sensível a pH alto. Com isso, a biomassa e a cobertura de macrófitas se mantiveram estáveis temporal e espacialmente. Em contrapartida, a heterogeneidade no ambiente foi determinante na estrutura dos grupos funcionais em resposta a certas variáveis ambientais e de acordo com as suas preferências de nicho, confirmada através da análise de correspondência canônica (CCA). **Conclusão:** os grupos funcionais responderam a variação nas características físicas, químicas da água, sendo o pH, temperatura e fósforo total, influenciadores na estrutura e composição do fitoplancton.

Palavras-chave: macrófitas, heterogeneidade, turbidez, variáveis ambientais.

1. Introdução

A capacidade de armazenamento e manutenção hídrica, a susceptibilidade a quaisquer fatores sejam de ordem antrópica ou até mesmo naturais, a vulnerabilidade com relação a eventos de sazonalidade são características recorrentes em lagos rasos, sujeitos a mudanças abruptas do ponto de vista ecológico e de qualidade de água (Cruz et al., 2013). Esses ecossistemas são classificados como aqueles que apresentam profundidade média menor do que 3 metros e superfície inferior a 100 km², em sua maioria, são oligotróficos e de alta riqueza taxonômica de macrófitas aquáticas (Scheffer & Van Nes, 2007, Sánchez et al., 2015).

Lagos pequenos e rasos são mais propensos aos efeitos da eutrofização e consequentemente a mudança de estado de equilíbrio, em função disso, a conectividade interna, embora definidas como regiões espacialmente distintas, mostram-se relativamente homogêneas em características e processos nesses ambientes. Dessa forma o tamanho, a heterogeneidade espacial e a conectividade dentro do lago devem ser considerados quando se fala em estados alternativos de equilíbrio em habitats rasos (Jessen et al., 2014).

Estudos relatam que as macrófitas submersas exercem um papel chave no estado de águas claras em lagos rasos (Hilt et al., 2010, 2015; Blindow et al., 2014; Sánchez et al., 2015), atuando como agentes reguladores, altamente sensíveis a quaisquer alterações no corpo aquático e promovendo estabilidade no efeito cascata, além de contribuir para um aumento na transparência e por sua vez na qualidade hídrica local (Hilt et al., 2010).

Dependendo da variação na cobertura da vegetação submersa, a mesma pode influenciar a teia alimentar, afetando a dinâmica e estrutura da comunidade fitoplanctônica, base dessa teia (Fonseca & Bicudo, 2009). Atuantes na manutenção de águas relativamente claras, reduzem forças hidrodinâmicas tais como, a ressuspensão de nutrientes do sedimento, produzindo substâncias alelopáticas que reduzem ou inibem o crescimento do fitoplâncton; servindo de abrigo para organismos como peixes e zooplâncton que predam algas fitoplanctônicas (Ferreira et al., 2008; Izaguirre et al., 2012; Scheffer, 1998), prevenindo densas florações de cianobactérias (Blindow et al., 2014).

A partir de levantamentos de variáveis bióticas e abióticas *in situ*, junto a densa cobertura de macrófitas submersas é possível entender a dinâmica da ciclagem de nutrientes e seus impactos oriundos da variação no nível da água (Ferreira Júnior et al., 2010). Assim, a análise da cobertura da vegetação submersa é indispensável para estimar mudanças na qualidade dos sistemas lacustres, pois são elas que regulam o metabolismo nesses ambientes, pela competição por nutrientes e produção de aleloquímicos, pela liberação gradativa de

matéria orgânica, nutrientes oriundos da degradação do material morto e pelo sombreamento (Hilt et al., 2015; Pinto & O' Farrell, 2014). O sombreamento, promovido por macrófitas submersas, favorece a dominância de várias espécies da classe Cyanobacteria, em função da redução na disponibilidade de luz (Pinto & O' Farrell, 2014; Izaguirre et al., 2012).

Tendo em vista a ampla variedade de espécies fitoplanctônicas e o seu papel funcional, muitos trabalhos têm utilizado a abordagem funcional para entender as alterações nos ecossistemas aquáticos a partir de caracteres morfo-fisiológicos juntamente com as variáveis abióticas (Fonseca & Bicudo, 2011; Crossetti et al., 2013), indicando possíveis padrões de ocorrência de espécies, que funcionam como preditoras no ambiente com relação a mudança de estado de equilíbrio (Reynolds et al., 2002; Padizák et al., 2009).

Com isso, o objetivo deste trabalho é avaliar a estrutura e dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton ao longo da cobertura de macrófitas e suas relações com as variáveis ambientais em lago pequeno e raso de águas claras. A partir do exposto, pergunta-se: Existem diferenças na composição e estrutura de grupos funcionais (GFs) na cobertura de macrófitas?

Considerando a seguinte hipótese: Os fatores abióticos podem interferir na biomassa dos grupos funcionais fitoplanctônicos, alterando a dinâmica entre macrófitas e fitoplâncton dentro do sistema.

2. Material e Métodos

2.1. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, terceiro maior curso d'água do estado da Paraíba (Brasil), situa-se no extremo leste do referido Estado, entre as latitudes 6°41'57''S e 7°15'58''S e longitudes 34°54'37''W e 36°00'00''W. Ocupa uma área de 3.522,69 Km², é caracterizada por apresentar formações vegetacionais representadas por floresta ombrófila aberta (brejos de altitude), floresta estacional decidual e semidecidual, e ecossistemas associados, nas faixas ecotonais (AESAs, 2013). Elevada intensidade de impactos antropogênicos são identificados na área de abrangência da bacia incluindo devastação da cobertura vegetal e avanço da eutrofização, associados com a elevada ocupação humana no entorno.

A região selecionada para o presente estudo localiza-se no município de Araçagi-PB (Figura 1), apresenta clima tropical do tipo (As) segundo a classificação de Köppen, com

temperaturas variando mínima de 28 e máxima de 35°C, apresentando uma altitude de 91m (Alvares et al., 2014). O ambiente escolhido portanto, foi o lago Santa Lúcia (06°50'14.2"S 35° 19'51.4"W), com 444 m de comprimento e 128 m de largura, caracterizado pela presença de extensos bancos de macrófitas submersas (*Nitella cernua* A. Braun). O mesmo se encontra na zona rural, sendo utilizado pelos habitantes do entorno para fins de irrigação, pesca e lazer.

Informações meteorológicas foram obtidas junto a Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba/SECTMA).

2.2. Amostragem

As amostragens foram realizadas em intervalos mensais, entre agosto de 2014 a junho de 2015, (exceto o mês novembro) ao longo de um gradiente de cobertura de macrófitas submersas, em três transeções horizontais com o posicionamento de três grides equidistantes em cada transecto; nos quais foram feitas coletas de água para análise física, química e biológica (Figura 1).

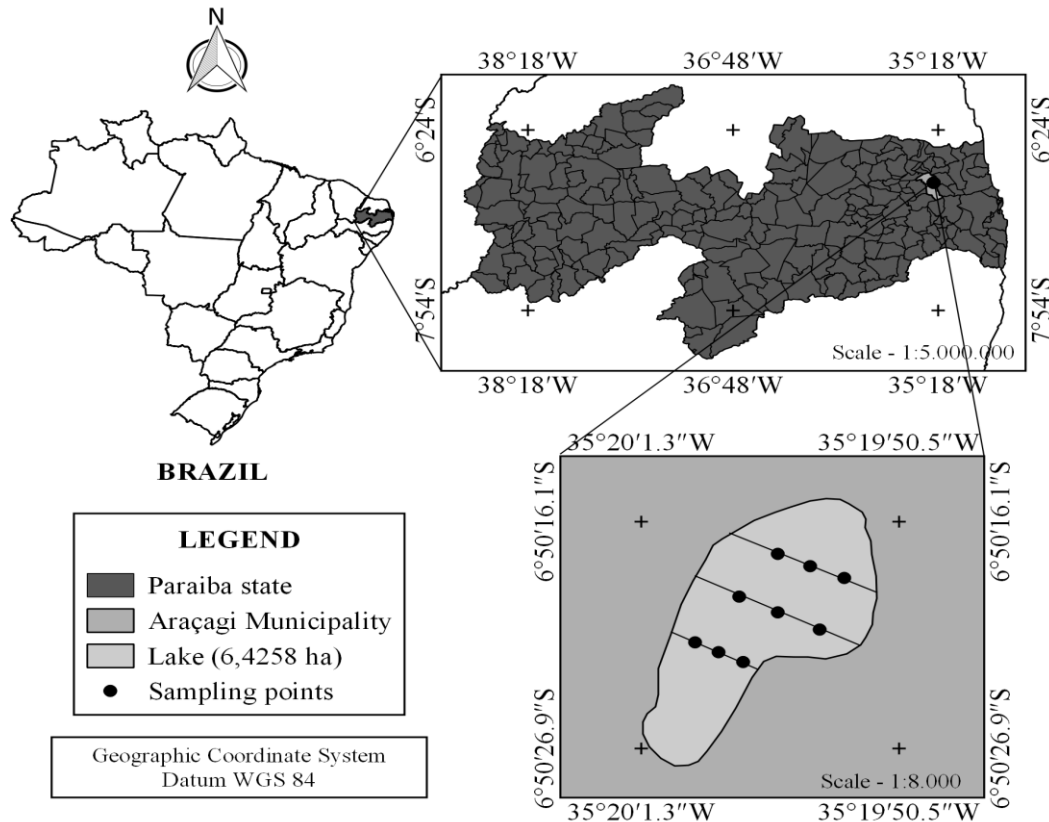


Figura 1. Localização do ecossistema em estudo no município de Araçagi- PB e seus respectivos transectos no lago Santa Lúcia.

2.3. Parâmetros Limnológicos

A determinação de dados como: temperatura (°C), condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), pH, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), transparência foram realizados *in situ* através de sonda multiparamétrica. Foram determinados *in situ* também a velocidade do vento (anemômetro) e para medição da variação do volume mensal foi instalada régua.

As amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna de água do lago e mantidas congeladas para evitar a degradação dos compostos de interesse. As análises de fósforo total e ortofosfato da água foram realizadas segundo a metodologia descrita por Apha (2005) também conhecida como “método do ácido ascórbico”. Sendo que para a determinação do fósforo total a amostra anteriormente foi submetida a digestão com persulfato de potássio.

A transparência da água (m) da água foi calculada através da profundidade de extinção do disco de Secchi (Z_{ds}), correspondente a 10% da luz incidente na superfície (Cole, 1983). O coeficiente de atenuação vertical da luz (k) foi calculado por meio da relação $k = 1,7 \times Z_{DS}^{-1}$ (Poole & Atkins, 1929). A zona eufótica (Z_{eu}) foi calculada empiricamente multiplicando o valor da transparência da água (ou da profundidade do disco de Secchi (Z_{ds}) por 2,7 (Cole, 1983). Para a zona de mistura (Z_{mix}), considerou-se o valor da profundidade, pois não houve diferenças entre os perfis de temperatura, devido ao ambiente ser muito raso, mostrando em todo o período de estudo, um perfil isotérmico. A razão entre Z_{eu}/Z_{mis} foi utilizada como índice de disponibilidade de luz na camada de mistura (Jensen et al., 1994).

2.4. Cobertura de macrófitas submersas

A cobertura das macrófitas de cada espécie foi estimada visualmente em porcentagem dentro de 1 m². A abundância de macrófitas submersas foi estimada através da porcentagem do volume de infestação (PVI) embaixo d’água (Canfield, 1984). O cálculo de PVI foi obtido através da seguinte equação:

$$PVI (\%) = \frac{MacC \times MacL}{D}$$

Onde:

MacC é a cobertura de macrófitas (%) de cada espécie;

MacL é o comprimento das macrófitas do sedimento para a coluna d’água (m);

D é a profundidade (m).

2.5. Fitoplâncton

As amostras qualitativas de água para análise do fitoplâncton foram coletadas com rede de plâncton com abertura de malha de 20µm, através de arrasto horizontal na superfície da água e preservadas em solução formol a 4%. As amostras quantitativas foram coletadas mergulhando um frasco de polietileno 250ml na subsuperfície e acrescentando posteriormente a solução de lugol. Ambas utilizadas para identificação e contagem das espécies respectivamente.

A Contagem do fitoplâncton foi realizada em microscópio invertido com aumento de 400 vezes pelo método de sedimentação conforme Utermöhl (1958). Através de transectos horizontais e verticais, tanto quanto forem necessários, para que fossem contados no mínimo 100 indivíduos de pelo menos duas espécies mais frequentes, de modo que o erro fosse inferior a 5% e o coeficiente de confiança acima de 95%. O tempo de sedimentação foi de 4h para cada centímetro de altura da câmara, segundo estabelecido por Lund et al. (1958). O sistema de classificação para classes e gêneros seguiu as indicações de Bicudo & Menezes (2006) e para as espécies foram utilizadas chaves de identificação específicas de cada grupo contidas na literatura como também na plataforma online Algae base. Os resultados foram expressos em densidade (ind. ml⁻¹) e calculados de acordo com a fórmula descrita por Ross (1979).

$$\text{Indivíduos.ml}^{-1} = (n/sc).(1/h).(F)$$

Onde: n= número de indivíduos efetivamente contados;

S= área do campo em mm²

C= número de campos contados;

h= altura da câmara de sedimentação em mm;

F= fator de correção para mililitro (10³nm³/1ml)

O biovolume (µm³.mL⁻¹) de cada espécie foi calculado tomando como base o(s) sólido(s) geométrico(s) que mais se aproximasse(m) da forma celular, isolados ou combinados, segundo Sun & Liu (2003) e Hillebrand et al. (1999) e a partir dos valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível. O biovolume específico foi estimado de acordo com Hillebrand et al. (1999) por meio do produto da densidade de cada espécie pela unidade volumétrica média dos indivíduos. Valor obtido em µm³.mL⁻¹ foi

transformado para $\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ dividindo-se por 1000000 (um milhão). Sendo expresso em unidade de peso fresco, onde $1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1} = 1 \text{ mg L}^{-1}$ (Wetzel & Likens, 2000).

Os grupos funcionais foram determinados por meio do sistema de classificação funcional do fitoplankton de água doce, contido em Reynolds et al. (2002) e revisado por Padisák et al. (2009), a partir dos grupos funcionais que atingiram volume igual ou superior a 10% de biomassa total.

2.6. Análise de dados

As espécies fitoplanctônicas foram classificadas com relação à frequência relativa de ocorrência (%), cuja definição é dada pelo número de unidades amostrais onde a espécie foi observada em relação ao número total de unidades amostrais (Mateucci & Colma (1982). Utilizando o seguinte critério:

$F \leq 10\% =$ espécie rara

$10\% < F \leq 50\% =$ espécie frequente

$F > 50\% =$ espécie constante

Foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade para identificar se houveram diferenças espaço-temporais nas variáveis limnológicas e no potencial de cobertura de macrófitas submersas. O teste não-paramétrico de Wilcoxon foi utilizado para constatar se houveram diferenças entre os pontos de biomassa do fitoplankton ao longo das transeções. Foi feita uma análise de correspondência Canônica seguido da Anova para verificar a relação entre as matrizes das variáveis abióticas e outra com grupos funcionais, e mostrar qual (ais) variáveis que mais influenciam os grupos, para isso foi utilizado o programa R (versão 3.2.2).

3. Resultados

Foram registrados baixos valores de precipitação e temperatura do ar com baixa variação entre o período correspondente a agosto de 2014 a junho de 2015 do presente estudo (Figura 3). A temperatura mínima do ar registrada foi de $27,9^\circ\text{C}$ e a máxima foi $34,6^\circ\text{C}$. A precipitação mínima registrada foi de 18,3mm (novembro) e a máxima foi 271,4 mm em

março, sendo no geral, os anos 2014 e 2015 considerados irregulares quanto a distribuição de chuvas.

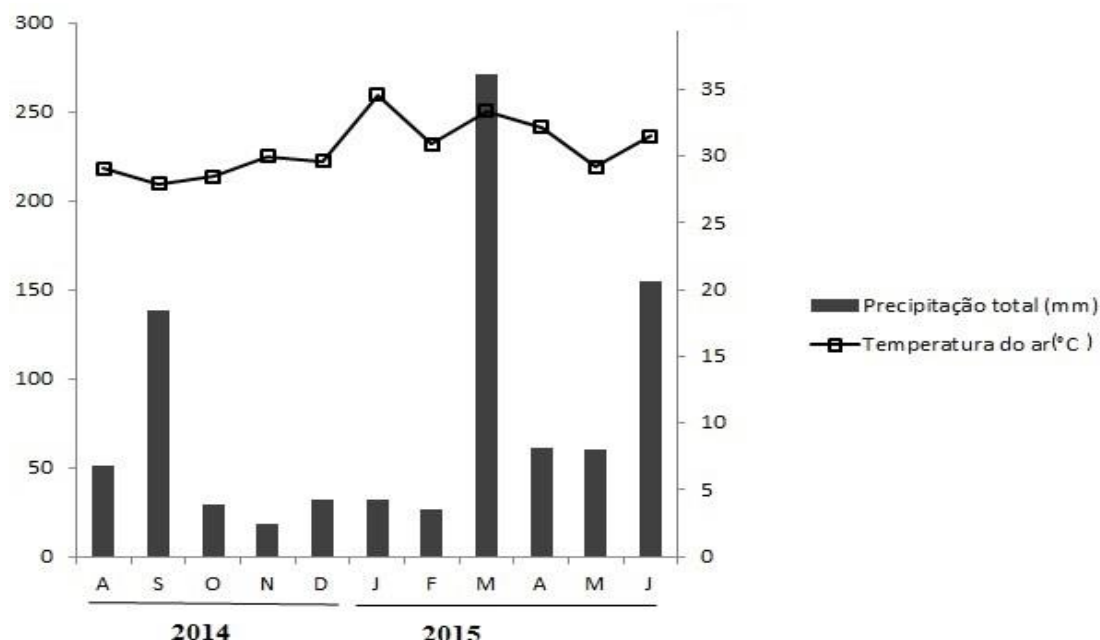


Figura 2. Precipitação total mensal (mm) e temperatura do ar (°C) no município de Araçagi-PB, no período de Agosto de 2014 a Junho de 2015. Fonte: AESA.

De acordo com as variáveis abióticas analisadas, o lago Santa Lúcia não apresentou limitação por luz sendo ($Z_{eu}:Z_{mix} > 1$), o pH manteve-se alcalino (> 7), os valores de fósforo total em geral foram baixos ($< 43,57 \mu\text{g/L}$). A temperatura da água apresentou um perfil isotérmico com mistura completa da coluna d'água ($Z_{max}=Z_{mix}$), além de altas concentrações de oxigênio dissolvido.

Na variação temporal, foi verificada diferenças estatísticas significativas apenas para as variáveis temperatura da água, ortofosfato e condutividade no ano de 2015. Quanto a variação espacial, não houve diferenças significativas com relação à biomassa total do fitoplâncton ao longo dos transectos identificados no teste de Wilcoxon ($p \geq 0,05$). Apresentando os seguintes valores: ponto 1 x 2, $p=0,8$, ponto 1 x 3, $p = 0,2$, ponto 2 x 3, $p=0,1$.

O potencial de Infestação de macrófitas obteve valores variando entre 56% a 88% sendo sua cobertura representada pela espécie de macrófita submersa (*Nitella cernua* A. Braun) dominante em todo o lago (Tabela 1).

314 **Tabela 1.** Valores médios das variáveis limnológicas e de macrófitas no lago Santa Lúcia. (Araçagi-PB).
 315 **Legenda (Tabela 1).** Médias seguidas pelas letras, na linha, iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%
 316 de probabilidade. Trans= transparência da água, Zeu=Zona eufótica, pH= Potencial Hidrogenionico, Tágua=
 317 temperatura água, PT água=Fósforo total, PVI= percentual de infestação de macrófitas, P-orto= fósforo
 318 dissolvido, Cond=Condutividade, K=coeficiente de atenuação de luz, OD= Oxigênio dissolvido.

Variáveis	2014				2015					
	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Trans	1,13 ^a	1,14 ^a	1,18a	0,82 ^a	1,07a	1,00a	1,16 ^a	1,16 ^a	1,00a	1,11 ^a
Zeu	3,0 ^a	3,0 ^a	3,2a	2,2 ^a	2,9a	2,7 ^a	3,1 ^a	3,1 ^a	2,7a	3,0a
K	1,4 ^a	1,4 ^a	1,4a	0,9a	1,5a	1,7 ^a	1,4 ^a	1,4 ^a	1,7a	1,5 ^a
Tágua	29,2 ^a	27,8 ^a	28,9a	19,6 ^a	28,6b	32,9a	30,4ab	32,1^a	31,0ab	28,7b
pH	7,5 ^a	7,5 ^a	7,7a	5,3 ^a	7,9a	8,0 ^a	8,3 ^a	8,7 ^a	8,5a	7,6 ^a
Pt água	40,1 ^a	40,0 ^a	32,8a	16,2a	19,4a	20,1a	21,8 ^a	16,8 ^a	15,2a	15,7 ^a
P-orto	21,5 ^a	22,0 ^a	21,2a	10,8a	11,9ab	18,7a	14,8ab	11,5ab	7,5b	12,0ab
Cond	-	-	-	-	166,0a	163,6a	122,0b	131,0b	147,3b	105,6c
OD	7,6 ^a	5,5 ^a	8,9a	7,5a	5,9a	9,9 ^a	7,4 ^a	13,8 ^a	13,9a	3,2 ^a
PVI	-	75,3 ^a	76,1a	81,4a	81,1a	81,7a	82,3 ^a	82,5 ^a	84,0a	81,3 ^a

319

320 3.1. Grupos Funcionais do fitoplâncton

321

322 As espécies fitoplanctônicas foram enquadradas em oito grupos funcionais: **N, K, X1,**
 323 **W2, TD, SN, S1, P.** Na figura 3, observa-se que o grupo **S1** contribuiu com elevados valores
 324 de biomassa, chegando até 99,96% em setembro, sendo as espécies *Planktonlyngbia* sp.,
 325 *Phormidium* sp. e *Planktothrix agardhii* as mais frequentes. O grupo **K**, que registrou 97% de
 326 biomassa em outubro, teve a maior parte da biomassa associada com *Aphanocapsa annulata*,
 327 sendo as demais consideradas raras (*Aphanocapsa delicatissima*, *Aphanocapsa* sp,
 328 *Synechococcus elongatus*) (Tabela 2).

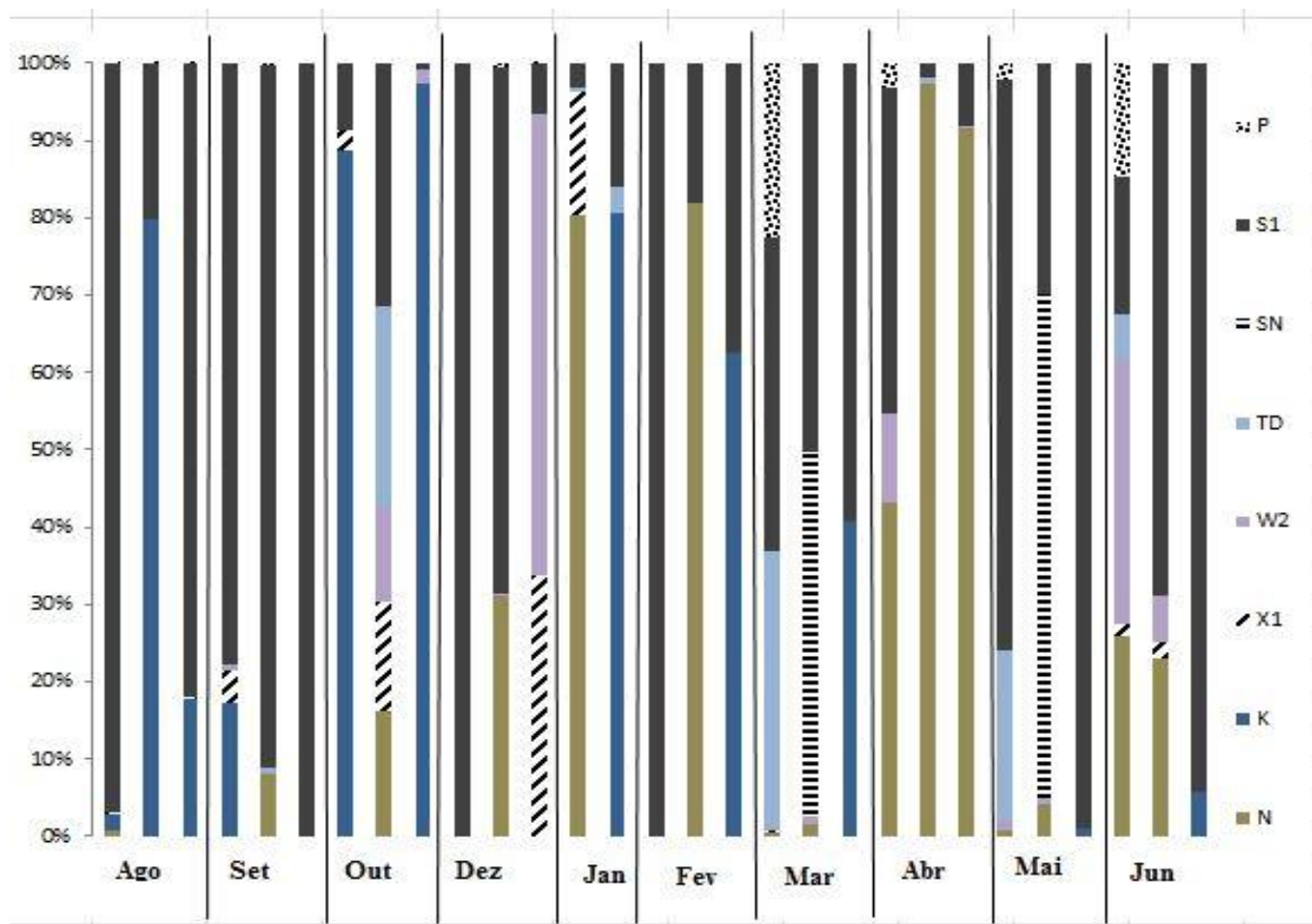
329 Nos meses de janeiro, fevereiro e abril a contribuição em biomassa do grupo **N** foi de
 330 73,80%, 81,82% e 97,46%, respectivamente. A composição do grupo esteve associado a
 331 desmídiadas (*Cosmarium regnelli* e *Staurostrum taylori*, por exemplo) e diatomáceas penadas
 332 (*Synedra* sp. e *Pennales* sp.), sendo mais abundantes no ponto “central” do lago (T2).
 333 Os demais grupos **P, W2, SN, TD, X1** mostraram altas flutuações ao longo dos meses,
 334 embora em baixas proporções quando comparado aos mais proeminentes (Figura 4).

335

336

337 Figura.3. Contribuição dos grupos funcionais fitoplanctônicos com mais de 10% de biomassa total no lago Santa Lúcia de agosto/14 a junho/15

338



339

340
341
342

Tabela 2. Lista de táxons registrados no lago Santa Lúcia no período de agosto 2014 a junho 2015. F= Frequente, R= Rara, C= Constante*

2014					2015						FO	GF
Táxon	A	S	O	D	J	F	M	Ab	Ma	Ju	(%)	
Bacillariophyceae												
<i>Synedra</i> sp.				x	x	x		x	x	x	34,4 F	N
<i>Navícula</i> sp.										x	3,44 R	D
<i>Pennales</i> sp.					x			x		x	13,7 F	N
Cyanobacteria												
<i>Aphanocapsa annulata</i> G.B.Mc Gregor in Mc Gregor	x	x	x			x	x		x	x	34,4 F	K
<i>A. delicatissima</i> W.West e G.S.West	x										3,44 R	K
<i>Aphanocapsa</i> sp.									x		3,44 R	K
<i>Calotrix</i> sp.	x	x									6,89 R	SN
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju								x			3,44 R	SN
<i>Chroococcus</i> sp.		x								x	6,89 R	LO
<i>Dolichospermum</i> sp.*	x	x		x	x	x	x	x	x	x	58,62 C	H1
<i>Komvophron</i> sp.	x						x	x			10,34 F	S1
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kutzing) Kutzing	x	x	x			x	x		x	x	41,37 F	M
<i>Microcystis panniformis</i> Komarek						x			x		6,89 R	M
<i>Planktolyngbia</i> sp.*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	89,65 C	S1

Tabela 2: Continuação...

<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis and Komarek 1988	x	x	x							10,34 F	S1
<i>Planktotrix</i> sp.					x					3,44 R	S1
<i>Phormidium</i> sp.*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	51,72 C	S1
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli				x						6,89 R	K
<i>Synechococcus</i> sp.							x			3,44 R	K
<i>Spirulina subsalsa</i> Orsted ex Gomont, 1892				x						6,89 R	S1
Chlorophyceae											
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs, 1918			x	x						6,89 R	J
<i>Botriococcus</i> sp.					x					3,44 R	F
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck				x	x					10,34 F	X1
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komarková-Legnerová	x		x							6,89 R	
<i>Monoraphidium komarkovae</i> Komarková-Legnerová 1969							x			3,44 R	X1
<i>Monoraphidium</i> sp.				x		x			x	10,34 F	X1
<i>Oocystes</i> sp.				x	x					6,89 R	X1
<i>Oocystes</i> sp. 1	x		x	x						17,24 F	X1
<i>Oocystes</i> sp. 2	x			x				x		10,34 F	X1
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen 1829	x		x		x			x		24,13 F	j
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg)Ralfs	x		x		x		x	x	x	44,82 F	J

Tabela 2: Continuação...

Cryptophyceae												
<i>Cryptomonas ovata</i>	Ehrenberg						x			6,89 R		Y
Euglenophyceae												
<i>Trachelomonas</i> sp.		x	x	x		x	x	x	x	x	44,82 F	W2
<i>Trachelomona</i> sp1.			x								3,44 R	W2
<i>Trachelomona pulcherrima</i>	Playf.							x			3,44 R	W2
<i>Trachelomona volvocina</i>	Ehrenberg	x	x	x			x			x	34,48 F	W2
<i>Trachelomona volvocinopsis</i>	Svirenko	x	x	x		x	x	x		x	31,03 F	W2
Oedogoniaceae												
<i>Oedogonium</i> sp.		x		x							6,89 R	TD
Zygnemaphyceae												
<i>Cosmarium biretum</i>	Brébisson ex Ralfs	x	x	x							17,24 R	N
<i>Cosmarium regnellii</i>	Wille*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	51,72 C	N
<i>Cosmarium</i> sp1.						x					6,89 R	N
<i>Closterium aciculare</i>	T.West						x				3,44 R	P
<i>Closterium acuminatum</i>	Kützing ex Ralfs			x							3,44 R	P
<i>Closterium diana</i>	Ehrenberg ex Ralfs	x	x				x				13,79 F	P
<i>Closterium gracile</i>	Brébisson ex Ralfs										3,44 R	P
<i>Closterium genus</i>	Brébisson								x		3,44 R	P

Tabela 2: Continuação...

<i>Closterium lineatum</i>	Ehrenberg ex Ralfs	x	x		x		x	17,24 F	P
<i>Closterium kuetzingii</i>	Brébisson	x						3,44 R	P
<i>Closterium parvulum</i>	Nägeli		x					3,44 R	P
<i>Cosmarium quadrum</i>	P.Lundell	x						3,44 R	N
<i>Mougeotia elegantula</i>	Wittrock		x		x		x	10,34 F	TD
<i>Mougeotia</i> sp.			x	x	x			17,79 F	TD
<i>Mougeotia</i> sp1.							x	3,44 R	TD
<i>Staurastrum taylorii</i>	Grönblad		x		x	x	x	13,79 F	N
<i>Staurastrum</i> sp.			x					3,44 R	N
<i>Spirogyra</i> sp.			x				x	6,89 R	TD
<i>Spirogyra</i> sp1.						x		3,44 R	TD
<i>Spirogyra</i> sp2.				x				3,44 R	TD

343

344

345 Foram selecionadas sete variáveis para explicar os oito grupos funcionais, sendo assim, a análise de correspondência canônica (CCA)

346 explicou 76,6% da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos em que a temperatura da água, o ortofosfato, o fósforo total e o pH foram as

347 variáveis que mais influenciaram a dinâmica dos grupos funcionais. As variáveis mais importantes na ordenação do eixo 1 foram: fósforo total e

348 ortofosfato que influenciaram os grupos funcionais **X1, S1 e K** associados em sua maioria as unidades amostrais correspondentes a zona

349 litorânea do lago.(Tabela 3).Em relação ao eixo 2, as variáveis mais importantes em sua ordenação foram: temperatura da água e pH em que os

350 grupos funcionais relacionados foram: **N, SN e TD** associados também as unidades amostrais correspondentes a região litorânea (Figura 5)

Tabela 3. Resumo da Análise de Correspondência Canônica mostrando os coeficientes de correlação entre os grupos funcionais fitoplancctônicos e as variáveis ambientais do lago Santa Lúcia no período de agosto de 2014 a junho 2015.

	Eixo1		Eixo 2	
Variáveis	CCA 1	CCA 2	r ²	p
pH	-0,98861	-0,15052	0,2111	0,053 .
Tágua	-0,99803	0,06282	0,2860	0,017*
Pt água	0,97277	-0,23179	0,2044	0,071.
P.orto	0,97699	-0,21329	0,2368	0,042*
Zmix	-0,99656	-0,08290	0,0395	0,596
Ze_u_Zmix	0,91991	0,39212	0,0778	0,359
Cond	-0,95199	0,30612	0,1669	0,114
CCA 1				
(pH)				
ANOVA	0,04 *	-	-	-
Variação				
explicada (%)	45,7	30,9	-	-

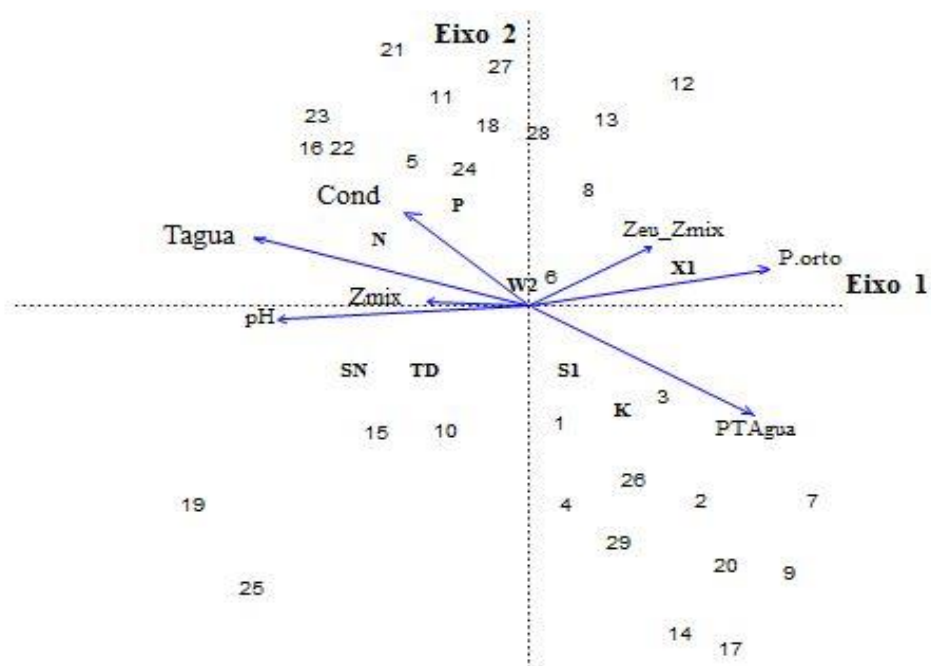


Figura 4. Análise de Correspondência Canônica (CCA) das unidades amostrais do lago Santa Lúcia geradas a partir de sete variáveis abióticas e os grupos funcionais descritores da comunidade fitoplanctônica. Os números correspondem as unidades amostrais (3 pontos por mês, totalizando 29, pois o mês de janeiro só foi coletado dados de dois pontos). Os códigos alfanuméricos correspondem aos grupos funcionais: **SN, TD, N, X1, S1, K**. As variáveis limnológicas: Tágua= temperatura da água, Cond= condutividade, pH= Potencial hidrogeniônico, Zeu_Zmix= razão entre zona eufótica e zona de mistura, P.orto= ortofosfato, PTágua= fósforo total da água, K= quociente de atenuação de luz.

4. Discussão

A região tropical do Nordeste brasileiro é caracterizada pela irregularidade de chuvas e longos períodos de estiagem, que influi diretamente no funcionamento dos ecossistemas aquáticos rasos (Chellappa et al., 2009; Dantas et al., 2012). Somado a esse fator, inclui-se a homogeneização das variáveis bióticas e abióticas, que é um fenômeno comum em águas nordestinas em função do tamanho do lago, altas taxas de evaporação, redução no volume de água, concentração de nutrientes, sendo esses fatores direcionadores na dinâmica de grupos funcionais do fitoplâncton, conforme identificado no presente estudo (Barbosa, et al., 2012; Chellappa et al., 2009).

As condições ambientais em lagos tropicais, assim como em outros ambientes no Nordeste, são influenciadas por eventos de precipitação, que alteram o volume de água e principalmente a dinâmica do fitoplancton. As biomassas algais mais elevadas são o reflexo da constante mistura da coluna d'água por ação do vento, da chuva, que permite o revolvimento do sedimento e a retroalimentação, condições que certamente favoreceram a ocorrência de cianobactérias nesse estudo (Borges et al., 2008; Cunha & Calijuri, 2011; Dantas et al., 2012).

A ausência de diferenças estatísticas entre os pontos, ou seja espacialmente, para biomassa fitoplanctônica indicou a influência da mistura completa da coluna d'água resultando em concentrações mais homogêneas das variáveis físicas e químicas, com isso a aparente homogeneidade espacial das variáveis abióticas e bióticas verificada no presente estudo corroborou, pela característica do lago, com outros estudos (Azevedo, 2014; Ferrari, 2010) os quais atribuem a baixa heterogeneidade espacial as características morfométricas (área pequena e baixa profundidade), e à presença da vegetação aquática (Costa & Dantas, 2011). Habitats distintos afetam a composição do fitoplâncton, entretanto, quando micro-

habitats são muito similares a comunidade fitoplantônica presente não difere umas das outras (Pereira, 2013).

A representatividade de grupos funcionais compostos por Cyanobacterias (**S1**, **K**, **SN**) deu-se em função da afinidade com o sombreamento promovido pelas macrófitas presentes, gerando um forte efeito sobre a estrutura de grupos funcionais do fitoplâncton.

O pico de precipitação ocorrido em março, com efeitos prováveis sobre o mês de abril, pode ter promovido uma instabilidade na mistura da coluna d'água em baixas intensidades, não interferindo nas variáveis abióticas sendo suficiente para promover o aumento da biomassa de representantes do grupo **N**. Esse grupo, constituído por desmídias, diatomáceas são comuns em ambientes oligo-mesotrófico, podendo tolerar deficiência de nutrientes, em sua maioria são sensíveis, ou seja não suportam altos valores de pH e nutrientes (Reynolds et al., 2002; Padizák et al., 2009).

As macrófitas apresentam grande relevância em promover o aumento da heterogeneidade espacial nos diferentes tipos de ecossistemas (Izaguirre et al., 2012; Costa & Dantas, 2011; Pinto & Ò Farrell, 2014), ao longo do eixo horizontal influenciam a flutuação espacial da estrutura de grupos funcionais do fitoplâncton (Crossetti et al., 2013). No entanto, em lagos pequenos e rasos as espécies fitoplantônicas tendem a apresentar alta similaridade entre a região litorânea, com presença de densos bancos de macrófitas, e região limnética (Fonseca & Bicudo, 2011), não sendo considerada em muitos casos, inclusive no presente estudo, zonas diferenciadas.

A análise de correspondência canônica (CCA) indicou a temperatura da água, o ortofosfato, o fósforo total e o pH como principais variáveis influenciadoras da dinâmica dos grupos funcionais. Resultados semelhantes atribuem o destaque dessas variáveis a períodos prolongados de estiagem (Cunha & Calijuri, 2011). As variáveis mais importantes na ordenação do eixo 1 (fósforo total e ortofosfato) influenciaram diretamente **X1**, **S1** e **K** indicando a ocorrência desses grupos em associações típicas de ambientes quentes, rasos, meso-eutróficos e com coluna d'água misturada (Reynolds et al., 2002).

Os grupos funcionais **N**, **SN**, e **TD** associaram-se a temperatura da água e ao pH (CCA), confirmando a ocorrência em águas quentes, rasas, moderadamente enriquecidas e, sobretudo alcalinas (Cunha & Calijuri, 2011; Reynolds et al. 2002; Padizák et al., 2009). O grupo **S1**, dominante na escala temporal e **SN** associam-se a altas temperaturas, podem coexistir em ambientes com macrófitas devido ao sombreamento promovido pelas mesmas, reduzindo relativamente as taxas de luz (Araújo & Barbosa, 2009; Padizák et al., 2009). O fato do ambiente ser raso e propenso a turbidez, explica a relação de grupos de cianobactérias

filamentosas e coloniais também com períodos de estiagem (Reynolds et al., 2002; Padizák et al., 2009), tendo sido comumente citados em outros ecossistemas do Nordeste (Araújo & Barbosa, 2009; Barbosa et al., 2012; Brasil & Huszar, 2011).

Embora os testes univariados (Wilcoxon e Tukey), em geral, não tenham mostrado diferenças entre os pontos amostrais para a biomassa total, os fatores abióticos revelaram pouca variação, no entanto quando aplicada a CCA entre os grupos funcionais e fatores abióticos, pôde-se constatar uma variação espaço-temporal significativa na ocorrência dos grupos funcionais, atribuída principalmente, à dinâmica temporal das características físicas e químicas da água, além da influência dos fatores climáticos. Cabe ressaltar, no entanto, que o período avaliado foi relativamente atípico do ponto de vista de distribuição de chuvas, sendo necessária cautela na análise dos dados.

5. Considerações Finais

As variações espaço-temporais foram determinantes na estrutura e composição da comunidade fitoplanctônica presente na cobertura de vegetação submersa, revelando assim o potencial estratégico do fitoplankton como bom indicador ambiental e por possuir estratégias de coexistência com vários grupos a exemplo de macrófitas submersas sob condições ambientais distintas. Dessa forma o modelo de classificação funcional funcionou muito bem em águas rasas, revelando que grupos funcionais são regulados mediante os fatores abióticos, em que os efeitos da sazonalidade foram evidentes no comportamento da biomassa de algas e mudanças estruturais no fitoplankton.

6. Agradecimentos

À Universidade Federal da Paraíba e ao Laboratório de Limnologia (UFPB/CCA) por todo amparo no fornecimento de recursos que foram necessários à produção deste trabalho.

7. Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA, AESA, 2013. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=3273>> Acesso em: 06 jan. 2016.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>, 2013.
- APHA - American Public Health Association. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. 2005. Washington, APHA.
- ARAÚJO, G.J.M.; PIRES, A.M.A.; BARBOSA, J.E.L.; SANTANA, R.M.C.S.; SILVA, K.R.P.S.; DINIZ, C.R. Grupos Funcionais e Diversidade da comunidade fitoplânctonica do rio Taperoá, semiárido paraibano. *Congresso Nacional de Botânica*, Feira de Santana- BA-Brasil, 2009.
- AZEVEDO, A.D.S. A estrutura e a dinâmica internal dos grupos funcionais do fitoplancton no Complexo Lagunar do Jacaré grande, João Pessoa-PB, (*Monografia*) 55fls, 2014.
- BARBOSA, J.E.L.; MEDEIROS, E.S.F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R.S.; CRISPIM, M.C.B.; SILVA, G.H.G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnológica Brasiliensis*. V.24, n°.1, p. 103-118, ISSN 2179-975X, 2012.
- BICUDO, D. C., FONSECA, B. M., BINI, L. M., CROSSETTI, L. O. Bicudo, C. E. M. & Araújo-Jesus, T. Undesirable side effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology*, 52: 1120–1133. 2007.
- BORGES, P.A.F.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L.C. Estrutura do fitoplancton em curto período de tempo, em um braço do reservatório de Rosana (ribeirão do Corvo, Paraná, Brasil). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n°.1, p. 57-65, ISSN: 1807-863X, 2008.
- BLINDOW, I.; HARGERBY, A.; HILT, S. Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. *Hydrobiologia*, 737:99–110, DOI: 10.1007/s10750-013-1687-2, 2014.
- CANFIELD, D.E., JR., J.V. Shireman, D.E. Colle, W.T. Haller, C.E. Watkins II, AND M.J. Maceina. Prediction of chlorophyll a concentrations in lakes: The importance of aquatic macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 41:497-501. 1984.
- CHELLAPPA, N.T.; CHELLAPPA, T.; CÂMARA, F.R.A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, S. Impacto f stress and disturbance factors on the phytoplankton communities in Northeastern Brazil reservoir. *Limnológica*, 39: 277-282, DOI: 10.1016/j.limno.2009.06.006, 2009.

- COCHE, A.G. Limnological study of a tropical reservoir. In: E.K. Balon and A.G. Coche (eds.). Lake Kariba: a man-made tropical ecosystem in central Africa. *The Hague*, Dr. W. Junk. p. 7-247.1974.
- COLE, G. Textbook of limnology. London: The C.V. Mosby Co. 436 p. (3ª edição).1983.
- COSTA, D.F.; DANTAS, E.W. Diversity of community in differen urban aquatic ecosystems in metropolitan João Pessoa, stateof Paraíba, Brazil. *Acta Limnológica Brasilensia*, p.394-405, v.223, n.4, <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975x2012005000018>, 2011.
- CROSSETTI, L.O.; BECKER, V.; CARDOSO, L.S.; RODRIGUES, L.R.; COSTA, L.S.; MARQUES-MOTTA, D. Is phytoplankton functional classification a suitable tool to investigate spatial heterogeneity in a subtropical shallow lake? *Limnológica*, 43: 157-163, doi:10.1016/j.limno.2012.08.010, 2013.
- CRUZ, P.S.; BARBOSA, L.G.; RODRIGUES, M.L.; LIMA, S.M.S.; CEBALLOS, B.S.O. Grupos Funcionais em mesoambientes com piscicultura: efeitos da eutrofização artificial na dinâmica e estrutura funcional do fitoplâncton. *Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, p. 27-40, v.8, n 2, ISSN 1981-8203, 2013.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Variação Sazonal dos grupos funcionais fitoplanctônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil). *Acta Botanica Brasilica*, 25(4):822-831.2011.
- DANTAS, E.W.; OLIVEIRA-BITTENCOURT, M.C.; MOURA, A.N. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in Northeastern Brazil assessed using Reynolds' Theory. *Limnológica*, 42: 72-80, DOI: 10.1016/l.limno.2011.09.002, 2012.
- DONK, E.V.; BUND, W.J.V. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquatic Botany*, 72: 261–274, DOI: 10.1016/S0304-3770(01)00205-4, 2002.
- FERRARI, F. 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algas planctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo), *Tese de Doutorado*, fls. 359.
- FERREIRA, T.F.; JUNIOR, C.R.F.; MARQUES, D.M. Efeito da liberação de nutrientes por plantas aquáticas sobre a Dinâmica de Estados Alternativos da comunidade fitoplanctônica em um Lago raso subtropical. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, p.151-160, ISSN 2318-0331, 2008.
- FONSECA, B.M. & BICUDO, C.E.M. How importante can the presence/absence of macrophyt esbe in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow reservoir swith diferente trophic status? *Journal of Planktonresearch*, 32: 31-46, DOI:10.1093/plankt/fbp107, 2009.
- FONSECA, B.M.; BICUDO, C.E.M. Phytoplankton seasonal and vertical variations in a tropical shallow reservoir with abundant macrophytes (Ninféias Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, 665: 229-245, DOI 10.1007/s10750-011-0626-3, 2011.

- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C.D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, D. & ZOHARY, T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35: 403-424.
- HILT, S. Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*, 34 (2): 467-480, ISSN: 0213-8409, 2015.
- IZAGUIRRE, I.; ALLENDE, L.; ESCARAY, R.; BUSTINGORRY, J.; PÉREZ, G.; TELL, G. Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human- impacted shallow lakes with different stable states. *Hidrobiologia*, 698: 203-216, DOI 10.1007/s10750-012-1069-1, 2012.
- JANSSEN, A.B.G.; TEURLINCX, S.; AN, SHUQING.; JANSE, J.H.; PAERL, H.W.; MOOIJ, W.M. Alternative stable states in large shallow lakes? *Journal of Great Lakes Research*, 40: 813–826, DOI:10.1016/j.jglr.2014.09.019, 2014.
- JENSEN, P., JEPPESEN, E., OLRIK, K. & KRISTENSEN, P. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51: 1692–1699. 1994.
- JÚNIOR, C.R.F.; MARQUES, D.M.; COLLISCHONN, W.; VAN NES, E. Modelagem Ecológica como Ferramenta Auxiliar para Restauração de Lagos Rasos Tropicais e Subtropicais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, pp15-25, v.15, n.2, ISSN 2318-0331, 2010.
- LISCHKE, B.; HILT, S.; JANSE, J.H.; KUIPER, J.J.; MEHNER, T.; MOOIJ, W.M.; GAEDKE, U. Enhanced input of terrestrial particulate organic matter reduces the resilience of the clear-water state of shallow lakes: A model study. *Ecosystems*, 17: 616–626, DOI: 10.1007/s10021-014-9747-7, 2014.
- KRUK, C.; HUSZAR, V.L.M.; PEETERS, E.T.H.M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LURLING, M.; REYNOLDS, C.S.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55:614–627, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x, 2010.
- LUND, J.W.G., KIPLING, C. & LECREN, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.
- PINTO, P.T.; Ó FARRELL, I. Regime shifts between free-floating plants and phytoplankton: a review. *Hydrobiologia*, 740:13–24, DOI: 10.1007/s10750-014-1943-0, 2014.
- REYNOLDS, C.S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res*, 24, 417–428, DOI:10.1093/plankt/24.5.417, 2002.
- REYNOLDS, C.S. Ecology of phytoplankton. *Cambridge University Press*, New York. 51 p. 2006.

- PADISÁK, J.; CROSSETTI, L.O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1–19, DOI 10.1007/s10750-008-9645-0, 2009.
- POOLE, H. H. & ATKINS, W.R.G. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association of India*. 16: 297–324, 1929.
- SALMASO, N.; PADISÁK, J. Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, 578:97–112, DOI 10.1007/s10750-006-0437-0, 2007.
- SANCHÉZ, M.L.; LAGOMARSINO, L.; ALLENDE, L.; IZAGUIRRE, I. Changes in the phytoplankton structure in a Pampean shallow lake in the transition from a clear to a turbid regime. *Hydrobiologia*, 752:65–76, DOI: 10.1007/s10750-014-2010-6, 2015.
- SCHEFFER, M.; VAN NES, E.H. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, 584: 455–466, DOI: 10.1007/s10750-007-0616-7, 2007.
- SCHEFFER, M. 1998. Ecology of shallow lakes. *Chapman and Hall*, London.
- SUN, J. & LIU, D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25: 1331–1346.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommen der quantitative Phytoplankton: Methodik. *Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1–38.
- WETZEL, R. G. AND G. E. LIKENS. Limnological Analyses. 3rd Edition. *Springer-Verlag*, New York. 429 pp. 2000.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Escopo e Política A *Acta Limnologica Brasiliensia* é a revista científica da Associação Brasileira de Limnologia (ABLimno) que publica artigos originais, notas científicas, artigos de revisão e artigos de opinião que contribuem para o desenvolvimento científico da Limnologia. A revista cobre um amplo espectro, incluindo qualquer tópico relacionado à ecologia de águas continentais de ecossistemas como, rios, lagos, planícies de inundação, áreas alagadas, reservatórios e zonas estuarinas. O escopo da *Acta Limnologica Brasiliensia* engloba todos os aspectos teóricos e aplicados da ecologia aquática continental, manejo e conservação, ecotoxicologia e poluição. Trabalhos taxonômicos podem ser aceitos desde que contenham informação ecológica e distribuição geográfica. Os artigos submetidos à revista devem ser originais e sem submissão simultânea a outro periódico. Os autores assumem a responsabilidade intelectual e legal pelos resultados e pelas considerações apresentadas. Os manuscritos submetidos são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião dos Editores da revista. A veracidade das informações e das citações bibliográficas é de responsabilidade exclusiva dos autores. Salientamos que plágio acadêmico em qualquer nível é crime. Os manuscritos submetidos são inicialmente avaliados quanto à linguagem, apresentação e estilo. Recomenda-se aos pesquisadores que não tenham o inglês como língua nativa que submetam seus manuscritos a um colega que possua esta língua como nativa. Os autores devem preparar seu manuscrito para submissão seguindo as instruções abaixo. Os manuscritos são avaliados pelo Editor-Chefe que encaminha o manuscrito para dois referees. Os referees enviam seus pareceres ao Editor-Chefe que também emite um parecer com base nos pareceres dos referees. Os três pareceres são enviados para os autores do trabalho. A revista utiliza o procedimento de par cego. Depois do aceite do trabalho, uma prova do artigo é enviada (on-line) para revisão final dos autores. Existem quatro categorias de contribuição para a *Acta Limnologica Brasiliensia*: 1) Artigos originais (geralmente composto por 25 páginas impressas, incluindo tabelas, figuras e referências). Veja “Forma e preparação de manuscritos” abaixo. 2) Notas científicas, contendo entre 2 e 4 páginas, apresentando informação concisa sobre um determinado tópico. A nota deve conter abstract (português e inglês), palavras-chave, (português e inglês) e referências; o restante do trabalho deve conter um texto contínuo. 3) Artigos de revisão. Estes artigos devem abordar assunto referente ao escopo da revista e de interesse atual. Estes artigos podem ser submetidos espontaneamente

ou ser fruto de convite pelo corpo editorial. 4) Artigos de opinião. Estes artigos devem abordar a discussão acadêmica de um tema relevante para o escopo da revista. O artigo de opinião deve conter até 3000 palavras e expressar pontos de vista sobre questões teóricas, metodológicas ou assuntos atuais em limnologia e devem ser respaldados e fundamentados por elementos bibliográficos. Ao critério da Comissão Editorial, a revista poderá publicar respostas ou considerações de outros pesquisadores estimulando a discussão sobre o tema. As opiniões expressas nos Artigos de Opinião são de inteira responsabilidade do(s) autor(es).

Forma e preparação de manuscritos- Os manuscritos submetidos para a *Acta Limnologica Brasiliensia* devem ser originais e não submetidos à outra revista científica. A submissão deve se feita em um arquivo único através do Sistema SciELO de Publicação no link da revista: <http://submission.scielo.br/index.php/alb/index>. Os manuscritos devem ser redigidos na língua inglesa com um abstract em português. Recomendamos fortemente que os autores que não tenham o inglês como língua nativa que submetam seu manuscrito à pessoa nativa na língua inglesa antes da submissão.

Texto- O texto deve seguir a seguinte ordem. Primeira página: título em inglês (em negrito) e em português, nome completo dos autores (p. ex. Antonio Fernando Monteiro Camargo), afiliação, endereço e endereço de e-mail de todos os autores. Cada autor deve ser identificado por um número sobrescrito. Segunda página: Resumo (em inglês e português) e palavras-chave. Terceira página e páginas subsequentes: texto do artigo (Introdução, Materiais e Métodos, Resultados, Discussão, Agradecimentos e Referências). A seguinte informação deve ser colocada no texto acompanhando todas as espécies citadas no texto: a) zoologia, o nome do autor e a data da descrição devem ser informados na primeira vez que a espécie for citada no texto; e b) botânica, apenas o nome do autor que descreveu a espécie deve ser informado na primeira vez que a espécie for citada no texto. Resumo O resumo deve conter entre 250 e 300 palavras e ser estruturado da seguinte maneira: Objetivo, Métodos, Resultados e Conclusões. Os tópicos devem ser destacados em negrito. Entre 4 e 5 palavras-chave devem ser informadas e devem ser distintas daquelas utilizadas no título. Tabelas e Figuras As tabelas e figuras devem ser numeradas consecutivamente utilizando numerais arábicos (Tabela 1, 2, 3, etc. e Figura 1, 2, 3, etc.). Na primeira versão, as tabelas e figuras devem ser inseridas no corpo do texto conforme forem citadas. Na versão final, as tabelas e figuras devem estar inseridas após as referências. As figuras devem estar em boa resolução (300 DPI ou mais). Fotografias e figuras coloridas poderão ser incluídas na versão eletrônica. Todas as tabelas e figuras devem ser indicadas no texto. Unidades e Símbolos Use o sistema internacional de unidades (SI), separando as unidades do valor com um espaço (com exceção

de porcentagens); use abreviações quando possível. Para unidades compostas use exponencial e não barra (Ex. mg.dia-1, e não mg/dia, Xmol.min-1 e não Xmol/min). Material Suplementar

A inclusão de material suplementar é permitida na versão eletrônica. Referências- A citação de teses, dissertações e monografias de graduação, relatórios técnicos e resumos apresentados em congressos devem ser evitadas ao máximo e apenas excepcionalmente e com a anuência dos referees e do Editor Chefe poderão ser utilizadas. Citação no texto: Use o sistema nome e ano de publicação: Schwarzbald (2009), (Calijuri, 2009), (Santoro & Enrich-Prast, 2010), para mais de dois autores utilize “et al.”. As citações na lista de referências devem seguir as normas ISO 690/2010. Todas as referências citadas no texto devem ser listadas em ordem alfabética em letras maiúsculas de acordo com o primeiro autor. Referências devem ser iniciadas em uma página separada. Exemplos: **Revista científica:** A referência de um trabalho científico deve ser apresentada na seguinte ordem: nome do autor abreviado (sobrenome, iniciais do nome), título do trabalho, nome da revista, ano de publicação, volume, número e número da página inicial e final sem omissão de nenhuma informação relevante. ESTEVES, K.E., LÔBO, A.V.P. and HILSDORF, A.W.S. Abiotic features of a river from the Upper Tietê River Basin (SP, Brazil) along an environmental gradient. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2015, 27(2), 228-237. Capítulo de livro: THOMAZ, S.M. and ESTEVES, F.A. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F.A., ed. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, pp. 461-518. 3 ed.

Livro: TUNDISI, J.G. and MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Separata: Uma cópia impressa do número que contém o artigo publicado será encaminhada ao primeiro autor do artigo. Se a Associação Brasileira de Limnologia não tiver fundos disponíveis para a publicação, o (s) autor (es) do artigo pagarão uma taxa referente ao custo de cada página do artigo. **Envio de manuscritos** Os manuscritos confeccionados segundo as instruções acima devem ser enviados em arquivo do Word for Windows através do Sistema SciELO de Publicação (<http://submission.scielo.br/index.php/alb/index>). A submissão de manuscritos através do Sistema SciELO de Publicação deverá ser realizada a partir de 04 de janeiro de 2016. A partir de 04 de janeiro de 2016, toda a tramitação de avaliação dos manuscritos (entre autor, editor e revisores) submetidos através do Sistema SciELO de Publicação será feita via Sistema.

CAPÍTULO 2

**A ser encaminhado para publicação na revista
Aquatic Ecology**

**Composition and structure of phytoplankton functional groups in two shallow lakes with
different alternative states**

**Composição e Estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em dois lagos rasos com
diferentes estados alternativos**

Núbia da Silva¹, Ênio Wocyli Dantas² e Luciana Gomes Barbosa³

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal da Paraíba – Campus II, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Pesquisas em Limnologia (NULIBA), Rodovia PB-079, Areia - PB, CEP: 58397-000, e-mail: nubiaetnobia@gmail.com

² Professor Doutor do Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: eniowocyli@yahoo.com.br

³ Professora Doutora do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – Campus II, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Pesquisas em Limnologia (NULIBA), Rodovia PB-079, Areia - PB, CEP: 58397-000, e-mail: lgomesbarbosa@gmail.com.

Composição e Estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em dois lagos rasos com diferentes estados alternativos

Resumo

O trabalho objetivou avaliar a composição e estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em ambientes com diferentes estados de equilíbrio, Lago Santa Lúcia e Lagoa do Paó. Santa Lúcia é caracterizado por águas claras, oligo-mesotróficas e abundância de macrófitas submersas, enquanto a Lagoa do Paó apresenta águas túrbidas, eutróficas, e com florações de cianobactérias. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos foram realizados mensalmente de agosto/14 a junho/15 na região central dos lagos. Lagoa do Paó apresentou valores muito baixos de transparência e zona eufótica (≤ 1), indicadores de limitação por luz, e altos valores de fósforo revelando o potencial de eutrofização. Esse cenário contrastante com Santa Lúcia indicou estrutura e composição dos grupos funcionais distintos, com apenas cinco grupos funcionais comuns: **K**, **S1**, **X1**, **W2** e **P**. Entre os grupos exclusivos na Lagoa do Paó alguns foram compostos por cianobactérias potencialmente tóxicas (**SN**, **LO**, **H1**, **F** e **D**), não encontrados em Santa Lúcia, indicador de que a cobertura de macrófitas submersas pode funcionar como inibidora da dominância dessas espécies. A CCA mostrou uma nítida separação entre os ambientes, estando os grupos **TD**, **N**, **W2** e **S1** relacionados a Santa Lúcia, típicos de águas claras. Já Lagoa do Paó, o pH, a temperatura, concentrações de fósforo, coeficiente de atenuação de luz influenciaram a ocorrência de **H1**, **SN**, **S1**, **W2**, **X1**, **D**, **LO**, em sua maioria representados por cianobactérias. Portanto, a estrutura e composição dos grupos funcionais responderam de acordo com as características dos ambientes estudados, mostrando que embora distintos lagos rasos podem compartilhar grupos funcionais semelhantes e que a cobertura de macrófitas pode funcionar como controladora de florações de cianobactérias, sendo os possíveis mecanismos associados à alelopatia, à diminuição na ressuspensão do sedimento, a absorção de nutrientes, entre outros.

Palavras-chave: águas claras, turbidez, eutrofização, algas

Composition and structure of phytoplankton functional groups in two shallow lakes with different alternative states

Abstract

The study aimed to evaluate the composition and structure of phytoplankton functional groups in environments with different equilibria, Lake St. Lucia and Lagoon Paó. Santa Lucia is characterized by clear waters, oligo-mesotrophic and abundance of submerged macrophytes, while the Lagoon Pao turbid, eutrophic, and cyanobacteria. The physical, chemical and biological parameters were carried out monthly from August / 14 to June / 15 in the central region of the lakes. Lagoon Pao showed very low values of transparency and photic zone (≤ 1), by light limitation indicators, and high phosphorus values revealing the potential for eutrophication. This scenario contrasts with Saint Lucia indicated structure and composition of the different functional groups, with only five common functional groups: **K**, **S1**, **X1**, **W2** and **P**. Among the cliques in Lagoon Pao some were composed of potentially toxic cyanobacteria (**SN**, **LO**, **H1**, **F** and **D**), not found in Santa Lucia indicator that the submerged macrophyte cover can function as an inhibitory dominant these species. The CCA showed a clear separation between the environments, with the **TD** group, **N**, **W2** and **S1** related to St. Lucia, typical of clear water. Already lagoon Pao, pH, temperature, concentrations of phosphorus, light attenuation coefficient influenced the occurrence of **H1**, **SN**, **S1**, **W2**, **X1**, **D**, **LO**, mostly represented by cyanobacteria. Therefore, the structure and composition of functional groups responded according to the characteristics of the environments studied, showing that although separate shallow lakes can share similar functional groups and the macrophyte cover can function as bloom controller cyanobacteria, and possible mechanisms associated allelopathy, the decrease in the pellet resuspension, the absorption of nutrients, among others.

Keywords: clear water, turbidity, eutrophication, algae

1.Introdução

Muitos lagos rasos em todo o mundo vem mostrando grandes mudanças devido à eutrofização, mudanças estas que refletem não só a qualidade da água, como também a composição das espécies macroscópicas e microscópicas (Janssen et al. 2014). Os fatores que contribuem para a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas da água estão associados ao tamanho do corpo hídrico, ao seu baixo volume decorrente de estressores naturais (clima) ou estressores antrópicos (irrigação, lançamento de esgoto). Esses fatores ajudam a modificar a estrutura e dinâmica, tornando-os mais vulneráveis a mudanças em seu estado de equilíbrio quando comparados com lagos profundos (Naselli-Flores et al. 2003; Janssen et al. 2014).

Em função de sua alta fragilidade, esses ecossistemas têm ganhado atenção nas pesquisas científicas a partir da década de 70 quando foi levantada a hipótese de que lagos rasos podem sofrer alterações bruscas no seu estado de equilíbrio (May 1977). Lagos caracterizados pela presença de macrófitas submersas tendem a mostrar um perfil de águas claras, com baixas concentrações de nutrientes e biomassa fitoplancônica, pois a vegetação submersa atua como filtro, absorvendo os nutrientes disponíveis no corpo hídrico e aumentando as taxas de sedimentação (Scheffer et al.2007; Blindow et al. 2014). Na ausência de macrófitas, o ambiente passa a ser dominado pelo fitoplâncton, especialmente cianobactérias que em condições de mistura, altas concentrações de nutrientes, reduzida zona eufótica encontram ótimo desenvolvimento (Blindow et al. 2014).

Outros mecanismos também podem alterar o estado de equilíbrio, é o caso da decomposição de macrófitas submersas, promovem um acréscimo de nutrientes e carbono no ambiente. Essa matéria decomposta, sob ação do vento, chuva ou qualquer outro agente perturbador favorece a retroalimentação, fazendo com que o ambiente volte a se reestabelecer, porém diferente da condição original (Júnior et al. 2010). Dependendo da magnitude e duração da entrada de fontes alóctones, rede trófica e sua relação com a ciclagem de nutrientes essa brusca alteração de estado pode ser evitada (Scheffer 1998).

Sánchez et al. (2015) constataram que mudanças de estado alternativo, em escala interanual estiveram associadas à drástica redução no seu volume de água, provocando um aumento no

fitoplâncton, fator desencadeado pelas atividades antrópicas na região tais como, uso de fertilizantes na agricultura, a pecuária, acelerando a eutrofização. Janssen et al. (2014) relatam que outros fatores podem interferir na estruturação da comunidade algal, tais como, tamanho do lago, a heterogeneidade espacial e conectividade interna.

O fitoplâncton pode ser encontrado em ambientes com diferentes níveis de nutrientes, pH, temperatura, luz e turbulência. Consequentemente, as flutuações temporais e espaciais, principalmente em sua composição (biomassa), podem ser consideradas bons indicadores das alterações em lagos rasos (Pereira 2013). Nesse sentido, o método de classificação através de grupos polifiléticos que compartilhem determinadas características adaptativas de ambientes e condições ambientais distintas (Reynolds et al. 2002; Padisák et al. 2009) revela-se um instrumento eficaz na caracterização do ambiente, possibilitando prever os fatores abióticos associados, bem como aqueles mais específicos tanto em lagos de águas claras como túrbidas (Izaguirre et al. 2012).

Nesse sentido, o presente estudo tem por finalidade avaliar a composição e estrutura de grupos funcionais fitoplanctônicos em lagos com diferentes estados alternativos estáveis (águas claras e águas túrbidas). Tendo como pergunta norteadora “A composição e estrutura dos grupos funcionais respondem às diferenças na estrutura e nos estados de equilíbrio dos lagos rasos?” estando a hipótese associada ao fato de que grupos funcionais compostos por cianobactérias potencialmente tóxicas são associações típicas de lagos túrbidos e eutrofizados.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em dois lagos rasos (Santa Lucia e Lagoa do Paó), ambos pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape (Paraíba, Brasil), enquadrada na classificação climática do tipo As, clima tropical com estação seca de verão (Alvares et al. 2014) (Fig. 1).

Santa Lucia (06°50'14.2"S 35° 19'51.4"W) é um lago pequeno e raso (444m de comprimento e 128m de largura), localizado em uma área de assentamento rural, caracterizado pelo cultivo de áreas agrícolas e criação de animais. È utilizado para pesca, usos domésticos, irrigação e lazer. È

considerado oligo-mesotrófico, com densa cobertura de macrófitas e uma marcante heterogeneidade espacial. Em contrapartida, a lagoa do Paó ($07^{\circ}02'28.4''$ / $W 035^{\circ}37'55.0''$), é uma lagoa urbana com 834m de comprimento e 266 m de largura, utilizado intensivamente para pesca. Grande parte do esgoto é lançado na lagoa promovendo aumento do estado de eutrofização, turbidez. Há décadas, esta lagoa era caracterizada pela presença massiva do aguapé (*Eichornia crassipes* Mart. e Solms 1883), que em 2009 foi completamente retirada por influência antrópica provocando mudanças bruscas incluindo o florescimento de algas tóxicas.

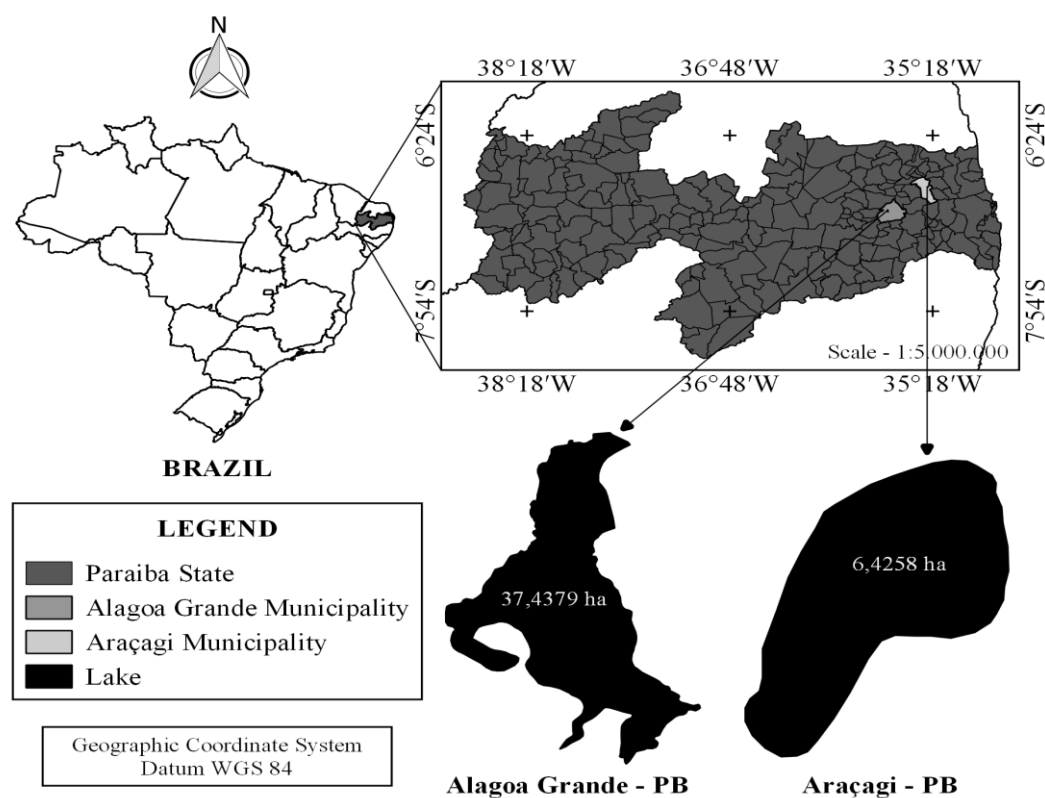


Fig. 1 Localização dos municípios de Araçagi e Alagoa-Grande (Paraíba/Nordeste do Brasil), em destaque a lagoa do Paó e o lago Santa Lúcia.

2.2 Amostragem

Informações hidrometeorológicas foram obtidas junto à Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba/SECTMA).

As amostragens foram realizadas em intervalos mensais, entre agosto de 2014 a junho de 2015, (exceto o mês novembro) em um ponto na região central do ambiente. Foram determinados dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), pH, transparência da água, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), turbidez, realizados *in situ* através de sonda multiparamétrica.

As amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d' água para os dois ambientes e mantidas congeladas para evitar a degradação dos compostos de interesse. As análises de fósforo total e ortofosfato da água foram realizadas segundo a metodologia descrita por Apha (1998) também conhecida como “método do ácido ascórbico”. Sendo que para determinação do fósforo total a amostra anteriormente foi submetida a digestão com persulfato de potássio.

A transparência da água (m) dos corpos d' água foi calculada através da profundidade de extinção do disco de Secchi (Z_{ds}), correspondente a 10% da luz incidente na superfície (Cole 1983). O coeficiente de atenuação vertical da luz (k) foi calculado por meio da relação $k = 1,7 \times Z_{DS}^{-1}$ (Poole e Atkins 1929). A zona eufótica (Z_{eu}) foi calculada empiricamente multiplicando o valor obtido pelo disco de Secchi (10% de incidência de luz) por 2,7 (Cole 1983). Para a zona de mistura (Z_{mix}), considerou-se o valor da profundidade, pois não houve diferenças entre os perfis de temperatura, os ambientes são muito rasos, mostrando em todo o período de estudo, um perfil isotérmico. Também considerou-se a razão entre Z_{eu}/Z_{mis} utilizada como índice de disponibilidade de luz na camada de mistura (Jensen et al. 1994).

2.3 Parâmetros Biológicos

Cobertura de Macrófitas (Feita apenas para o lago Santa Lúcia, em virtude da Lagoa do Paó não apresentar macrófitas).

A cobertura das macrófitas de cada espécie foi estimada visualmente em porcentagem dentro de 1 m². (Braun-Blanquet 1979). A abundância de macrófitas submersas foi estimada através da porcentagem do volume de infestação (PVI) embaixo d'água (Canfield 1984). O cálculo de PVI foi obtido através da seguinte equação:

$$PVI (\%) = \frac{MacC \times MacL}{D}$$

MacC é a cobertura de macrófitas (%) de cada espécie;

MacL é o comprimento das macrófitas do sedimento para a coluna d'água (m);

D é a profundidade (m).

Fitoplâncton

As amostras qualitativas de água foram coletadas com rede de plâncton com abertura de malha de 20µm, através de arrasto horizontal na superfície da água e preservadas em solução formol. As amostras quantitativas foram coletadas mergulhando um frasco de polietileno 250ml na subsuperfície e acrescentando posteriormente a solução de lugol. Ambas utilizadas para identificação e contagem das espécies respectivamente.

Densidade do fitoplâncton

A Contagem do fitoplâncton foi realizada em microscópio invertido com aumento de 400 vezes pelo método de sedimentação conforme Utermöhl (1958). Através de transectos horizontais e verticais, tanto quanto forem necessários, para que fossem contados no mínimo 100 indivíduos de pelo menos duas espécies mais frequentes, de modo que o erro fosse inferior a 5% e o coeficiente de confiança acima de 95%. O tempo de sedimentação foi de 4h para cada centímetro de altura da câmara, segundo estabelecido por Lund et al. (1958). O sistema de classificação para classes e gêneros

seguiu as indicações de Bicudo e Menezes (2006) e para as espécies foram utilizadas chaves de identificação específicas de cada grupo contidas na literatura como também na plataforma online Algae base. Os resultados foram expressos em densidade (ind.ml^{-1}) e calculados de acordo com a fórmula descrita por Ross (1979).

$$\text{Indivíduos.ml}^{-1} = (n/sc).(1/h).(F)$$

Onde: n= número de indivíduos efetivamente contados;

S= área do campo em mm^2

C= número de campos contados;

h= altura da câmara de sedimentação em mm;

F= fator de correção para mililitro ($10^3 \text{mm}^3/1\text{ml}$)

Biovolume

O biovolume ($\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1} \rightarrow \text{mm}^3. \text{L}^{-1}$) de cada espécie foi calculado tomando como base o (s) sólido (s) geométrico (s) que mais se aproximasse (m) da forma celular, isolados ou combinados, segundo Sun e Liu (2003) e Hillebrand et al. (1999); e a partir dos valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível. O biovolume foi expresso em unidade de peso fresco, onde $1 \text{mm}^3 \text{L}^{-1} = 1 \text{mg L}^{-1}$ (Wetzel e Likens 2000).

O biovolume específico foi estimado de acordo com Hillebrand et al. (1999) por meio do produto da densidade de cada espécie pela unidade volumétrica média dos indivíduos. Valor obtido em $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ foi transformado para $\text{mm}^3. \text{L}^{-1}$ dividindo-se por 1000000 (um milhão).

Grupos Funcionais

Os grupos funcionais foram determinados por meio do sistema de classificação funcional do fitoplâncton de água doce, contido em Reynolds et al. (2002) e através da revisão feita por Padisák et al. (2009), a partir dos grupos funcionais descritores, ou seja, aqueles que atingiram volume igual ou superior a 5% do biovolume total de cada amostra. Esses grupos funcionais são caracterizados conforme sua afinidade com o ambiente, tais como: os que melhor se adaptam a altas concentrações de

fósforo; aos que se adaptam a baixos valores de pH; presença de estruturas morfo-fisiológicas que lhes permitam sobreviver nesses ambientes, sejam de águas claras e/ou águas túrbidas. (Quadro 2, em anexo).

2.4 Análise de dados

Foi feita uma análise de correspondência Canônica para verificar a relação entre as matrizes das variáveis abióticas e outra com grupos funcionais, utilizando o programa R, pacote vegan, comando Envif para identificar a significância das variáveis e posteriormente foi feita Anova.

3. Resultados

De acordo com a distribuição pluviométrica mensal, as regiões correspondentes registraram picos de precipitação semelhante (exceto para o mês de março), em que Araçagi-PB mostrou chuvas mais concentradas neste mês. Outros picos seguiram-se nos meses de setembro 2014 e junho 2015 (Fig. 2).

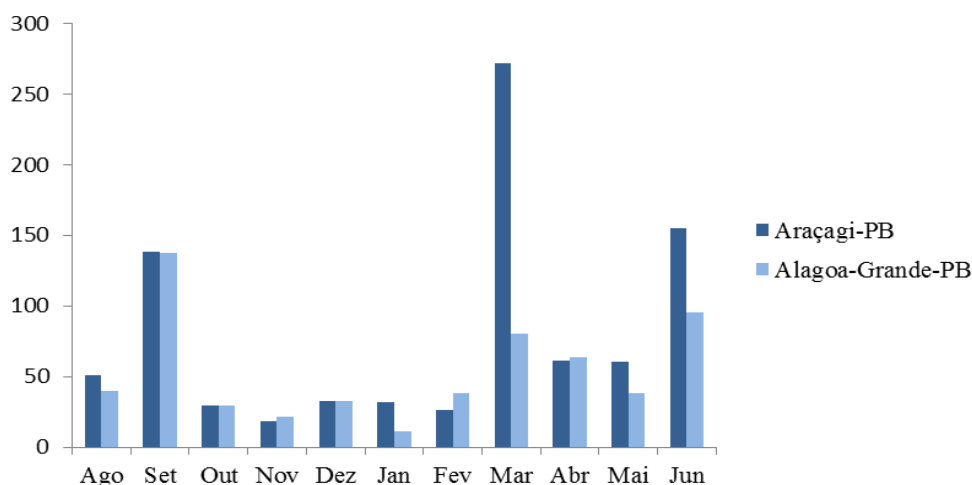


Fig. 2 Precipitação Pluviométrica registrada nos municípios Araçagi e Alagoa-Grande durante o período de agosto 2014 a junho de 2015 (Paraíba). Fonte: AESA

De acordo com a fig. 3 (A e B), observa-se que os dois lagos diferem quanto às características limnológicas. Em Santa Lúcia (A), os valores de transparência da água foram elevados (≥ 1) com altos

valores de zona eufótica. Na Lagoa do Paó (B) valores muito baixos de transparência e zona eufótica (≤ 1) foram identificados, indicando limitação por luz.

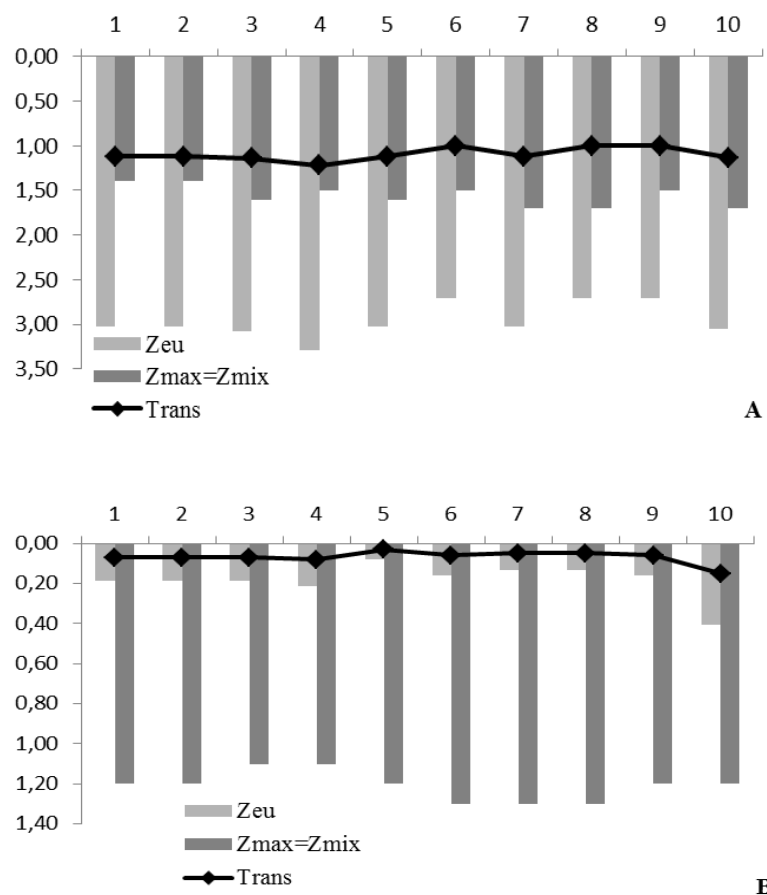


Fig 3 Variação sazonal da transparência da água, Zeu (zona eufótica) e profundidade máxima igual a zona de mistura ($Z_{max}=Z_{mix}$), em Santa Lucia (A) e na Lagoa do Paó (B).

Os ambientes apresentaram pH acima de 7,0, mantendo-se alcalinos em todos os meses. A temperatura da água mostrou-se acima de 27°C, chegando a 34,6°C. Os teores de fósforo total e ortofosfato em Santa Lúcia foram baixos ($<40 \mu\text{g/L}^{-1}$), classificado como oligotrófico (com valores abaixo de $44 \mu\text{g/L}^{-1}$). Na Lagoa do Paó, o fósforo total apresentou valores acima de $86 \mu\text{g/L}^{-1}$ e ortofosfato acima de $81 \mu\text{g/L}^{-1}$, caracterizado, portanto, como eutrófico ($\text{IET} \geq 54 \mu\text{g/L}^{-1}$). (Fig. 4)

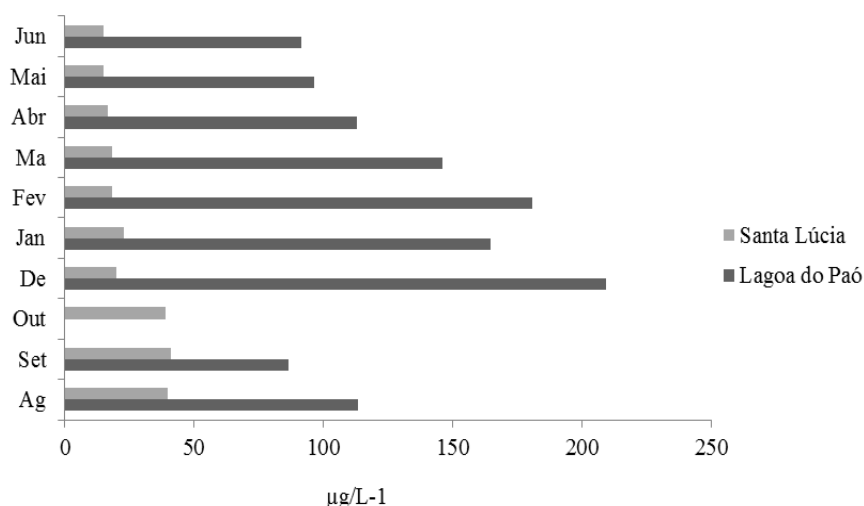


Fig. 4 Concentrações de fósforo total registradas nos dois ambientes de agosto a junho 2015.

Grupos Funcionais

As 34 espécies registradas no lago Santa Lúcia, foram inseridas em oito grupos funcionais: **K**, **S1**, **X1**, **P**, **W2**, **M**, **TD**, **N**. Em Lagoa do Paó, obteve-se 23 espécies registradas, as quais foram acomodadas em dez grupos: **K**, **S1**, **X1,P**, **W2**, **SN**, **F**, **LO**, **D**, **H1** (Quadro 1, em anexo). De acordo com a Figura 4 (A e B), ambos os ambientes compartilharam entre si cinco grupos funcionais: **K**, **S1**, **X1,W2 e P** (Fig. 5A), (Quadro 2, em anexo).

Em Santa Lúcia, os grupos **N** e **S1** ocorreram em todo o período amostral. **N** apresentou mais de 70% de biomassa entre os meses de janeiro e fevereiro, chegando a 96% de biomassa em abril, representados pelas diatomáceas (*Penalles* sp, *Synedra* sp.) e desmídias (*Cosmarium* sp.; *C. biretum*, *C. regnelli*, *C. quadrum* e *Staurostrum taylori*). O grupo **S1** das Cianobactérias (*Planktonlyngbia* sp., *Planktotrix agardhii*, *Phormidium* sp., *Spirulina subsalsa*) apresentou maior valor em biomassa no mês de dezembro (68% do total).

Na lagoa do Paó, o grupo **SN** apresentou em setembro 50% de biomassa; **S1** em outubro obteve 70% de biomassa e **W2** no mês de maio destacou-se com 53% de biomassa total. Entre os grupos funcionais exclusivos na Lagoa do Paó, a maioria foi composta por cianobactérias potencialmente tóxicas **SN** (*Cilindrospermopsis raciborskii*, *Raphidiopsis curvata*); **H1**

(*Dolichospermum* sp., *Anabaenopsis* sp., *Cuspidotrix* sp.); **LO** (*Chroococcus* sp., *Merismopedia* sp.); **F** (*Sphaerocystis* sp.); **D** (*Tabelaria* sp.), grupos estes não encontrados em Santa Lúcia. (Fig. 5B).

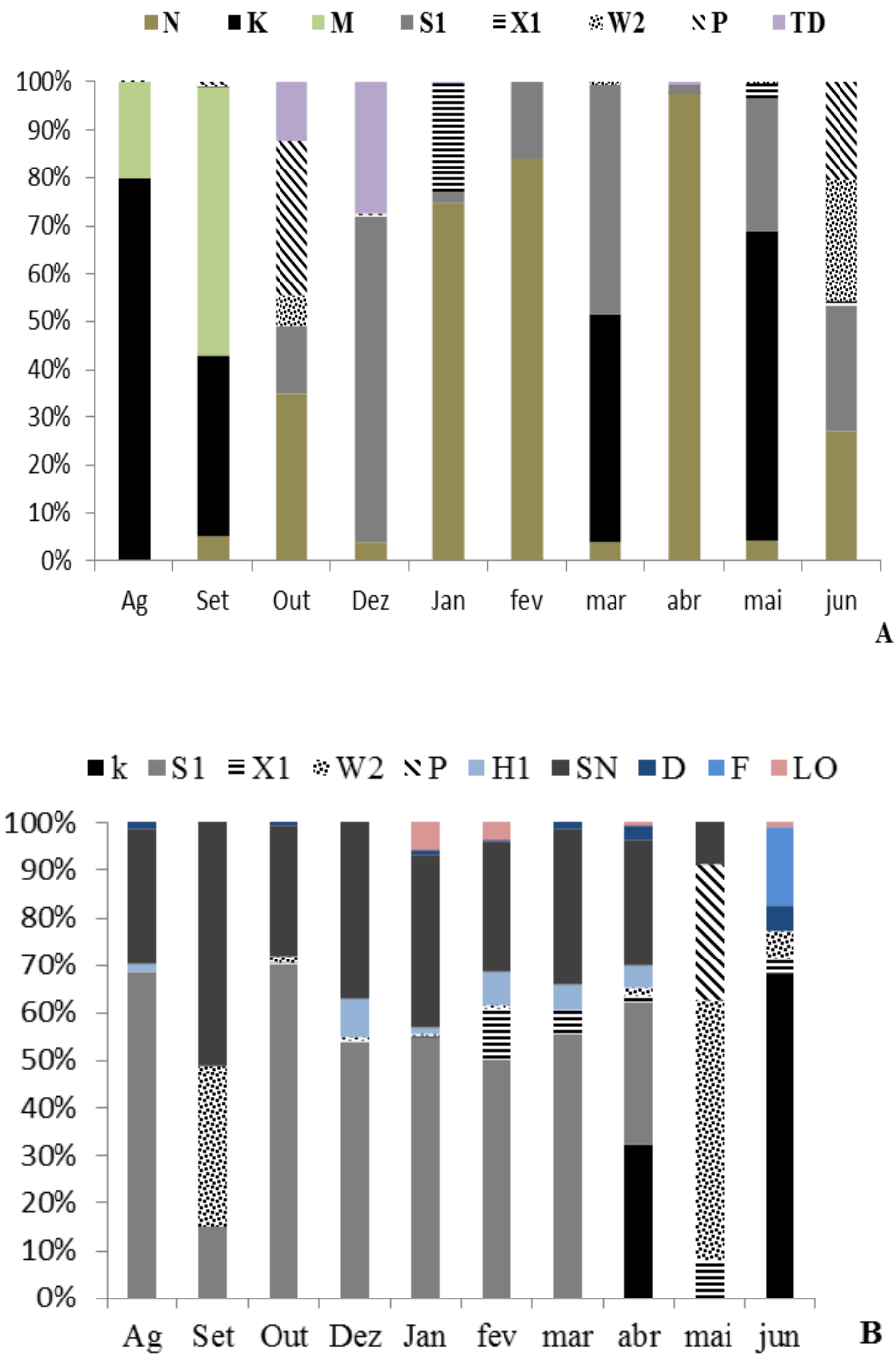


Fig. 5 (A e B). Grupos funcionais com biomassa mensal > 5%, em A grupos funcionais de Santa Lúcia e em B Lagoa do Paó, entre agosto de 2014 a junho de 2015.

A Análise de Correspondência Canônica (CCA), utilizando oito variáveis e doze grupos funcionais dos dois ambientes, explicou 73,87% da variabilidade dos dados (eixo 1 com 48,79%, e eixo 2 com 26,08%) de acordo com a análise de variância. Os dois primeiros eixos, correspondentes ao pH e a temperatura da água, foram os mais significativos seguidos de fósforo total, ortofosfato, K, Zmix e Zeu:Zmix (Tabela 1). Observou-se uma nítida separação entre os dois ambientes, em que Zeu:Zmix e Zmix estiveram relacionadas ao eixo 2 (unidades amostrais de Santa Lúcia), os quais influenciaram na ocorrência dos grupos funcionais **N, TD, S1, W2** em quase todos os meses exceto agosto e setembro/14 e maio/15.

O eixo 1 (lado negativo) caracterizado pelas unidades amostrais da Lagoa do Paó, indicou a ocorrência de grupos comuns a ambientes com alto teor de nutrientes, sendo as variáveis mais importantes em sua ordenação pH e temperatura da água influenciando os grupos funcionais **SN, H1** em quase todos os meses de estudo, exceto abril, maio e junho. Outro agrupamento correspondente as unidades amostrais da Lagoa do Paó (lado positivo do eixo 1) associou o fósforo total, ortofosfato e o quociente de atenuação de luz aos grupos **Lo, D, X1, W2** e **F** predominantes nos meses de abril, maio e junho (Fig. 6).

Tabela 1 Resumo da Análise de Correspondência Canônica indicando os coeficientes de correlação entre os grupos funcionais fitoplanctônicos e as variáveis ambientais do lago Santa Lúcia no período de agosto de 2014 a junho 2015

Variáveis	Abreviaturas	CCA 1	CCA2	r²	P (>r)
Potencial Hidrogeniônico	pH	0.98591	-16728	0.6620	0.001***
Temperatura da água	T água	0.97836	-20692	0.1296	0.312
Fósforo total	Pt	0.98450	0.17541	0.6182	0.001***
Ortofosfato	p.orto	0.99604	0.08890	0.6514	0.001***
Zona de mistura	Zmix	-0.91387	-0.40600	0.6911	0.002**
Luz na camada de mistura	Zeu_Zmix	-0.98009	-0.19853	0.9252	0.001***
Condutividade	Cond	0.96040	0.27864	0.0886	
Quociente de atenuação	K	0.99644	0.08427	0.7420	0.001***

de luz

	ANOVA	CCA 1 Ph	CCA2 T água
		0,001	0,008
Varição Explicada (%) ANOVA		48,79	26,08

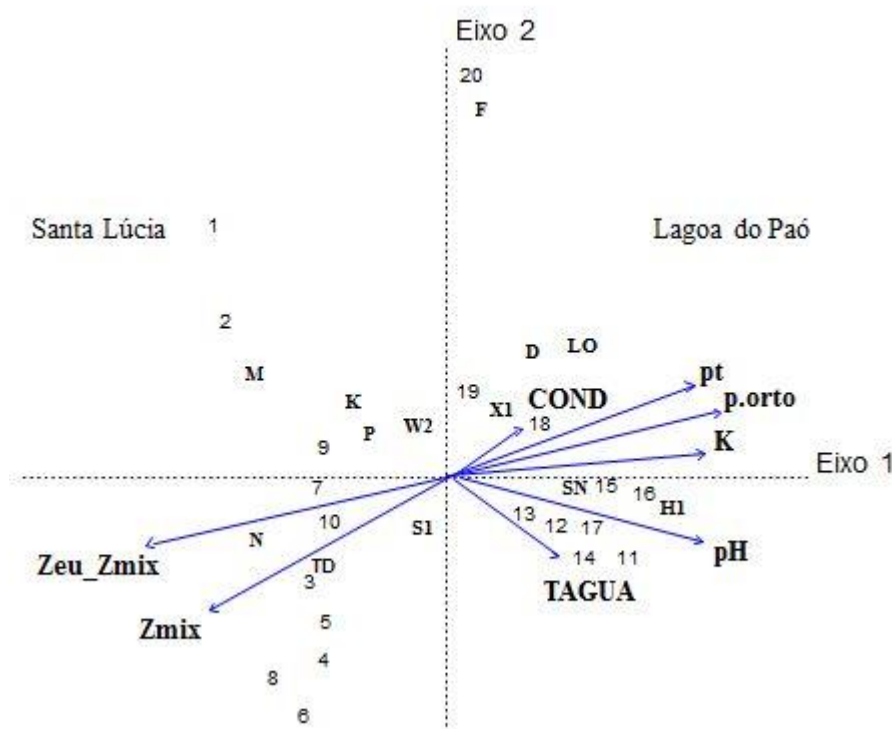


Fig. 6 Análise de Correspondência Canônica (CCA) das unidades amostrais dos lagos Santa Lúcia e Lagoa do Paó, geradas a partir de oito variáveis abióticas (Ph= potencial Hidrogeniônico, Tágua=Temperatura da água, COND=Condutividade, pt= Fósforo total, p.orto= ortofosfato, K= quociente de atenuação de luz, Zeus_Zmix= disponibilidade de luz na camada de mistura, Zmix= Zona de mistura, e treze grupos funcionais da comunidade fitoplanctônica de ambos locais: **M, K, P, TD, X1, D, Lo, SN, H1, S1, e W2**), os números correspondem aos meses de coleta, sendo de 1 a 10 (Santa Lúcia) e 11 a 19 (Lagoa do Paó) compreendendo o período de agosto 2014 a junho de 2015 para cada local específico.

4. Discussão

Em lagos e lagoas tropicais a produtividade primária do fitoplâncton depende de fatores como a disponibilidade de radiação, concentrações de nutrientes, temperatura e pH. Outros fatores também contribuem de maneira relevante na estruturação do fitoplâncton tais como, precipitação, vento e flutuações no volume de água (Silva et al. 2011). A interação sinérgica desses fatores, conforme indicado na CCA, foi determinante na caracterização limnológica dos lagos e na compreensão da dinâmica de seus grupos funcionais fitoplanctônicos refletindo na flutuação mensal das populações algais tanto em Santa Lúcia, como em Lagoa do Paó.

Tendo em vista a sensibilidade e capacidade do fitoplâncton em predizer alterações no corpo d'água, este trabalho corrobora com resultados encontrados em reservatórios de regiões tropicais e subtropicais (Fonseca e Bicudo 2009; Izaguirre et al. 2012; Sánchez et al. 2015) os quais associaram a variação espaço-temporal do fitoplâncton principalmente as modificações na paisagem do entorno, refletindo assim na mudança de estado de equilíbrio desses ambientes. Sendo assim, Santa Lúcia e Lagoa do Paó se mostraram distintos em relação as características limnológicas (clima de luz subaquático e concentrações de nutrientes, por exemplo) evidenciando uma variação espaço-temporal em seus grupos funcionais sendo as macrófitas um fator preponderante na inibição do fitoplâncton em Santa Lucia.

A vegetação aquática submersa, como observado em Santa Lucia, detém um papel regulador na composição e estrutura de microalgas de lagos rasos sendo a ocorrência de desmídias, por exemplo, relacionada a sua afinidade por ambientes meso-oligotróficos aderidas ao perifíton e presentes no metafiton (Silva et al.,2011). De acordo com Reynolds et al. (2002) e Padizák et al. (2009) o grupo **N**, representado neste lago pelas diatomáceas e desmídias é constituído por espécies que geralmente não suportam altas concentrações de fósforo e pH, o que explica a ausência deste grupo em Lagoa do Paó.

Em Santa Lúcia o destaque para os grupos compostos por cianobacterias pode estar associado ao sombreamento facilitado pelas macrófitas submersas (Fragoso Júnior et al. 2010) criando uma densa cobertura na superfície da coluna d'água e impedindo que a luz chegue até o fundo, favorecendo o surgimento de cianobactérias, como também diatomáceas, euglenofíceas e criptofíceas (Pinto e

O'Farrell 2014). Sendo assim, o grupo **S1**, constituído por espécies consideradas fortes competidoras nesses ambientes, típicas de lagos rasos e bem misturados (Reynolds et al. 2002) registraram elevada biomassa.

O uso para fins de irrigação em Santa Lúcia e o aporte de efluentes urbanos (esgoto) lançados dentro da lagoa do Paó são indicativos de interferências de ações antrópicas nesses lagos e, conseqüentemente na alternância em seus estados de equilíbrio. Tais diferenças possibilitaram um cenário contrastante em relação a ocorrência dos grupos funcionais constituídos por cianobactérias potencialmente tóxicas (**Sn, Lo, H1, F, D**), exclusivas na Lagoa do Paó, indicando que a cobertura de macrófitas submersas pode funcionar como inibidora da dominância desses grupos (Cossetti et al. 2013). Dessa forma, a estrutura e composição do fitoplâncton responde diretamente a mudanças e alternâncias do estado de equilíbrio dos ecossistemas (Sánchez et al. 2015; Izaguirre et al. 2012; Crossetti et al. 2013), registrando alta especificidade em relação às variáveis ambientais.

A análise de correspondência canônica respondeu à pergunta do presente estudo, indicando que a composição e estrutura dos grupos funcionais são reflexo das diferenças na estrutura dos ecossistemas aquáticos e de seus estados de equilíbrio. A influência da disponibilidade de luz na camada de mistura revelou o quanto a transparência da água e o nível de infestação de macrófitas submersas exercem um forte efeito na variação da biomassa algal (Costa e Dantas 2011) e na composição dos grupos funcionais como observado para os grupos **TD** e **N**, com afinidade por águas permanentemente oligo-mesotróficas com fluxo lento e com presença de macrófitas submersas (Padizák et al. 2009). Também nesse sentido, a profundidade de um ecossistema pode ter uma forte influência sobre o comportamento das associações fitoplanctônicas em reservatórios eutróficos tropicais (Dantas et al. 2012), em função da propensão à mistura da coluna d'água.

Em função da baixa profundidade nos dois ambientes, perfil isotérmico com elevadas temperaturas na Lagoa do Paó, a temperatura e o pH alcalino foram fatores influenciadores na ocorrência dos grupos **SN, H1, S1** e **W2**, cujo sucesso de ocorrência está relacionado a altas temperaturas e pH, escassez de chuvas e excesso de nutrientes (Pinto e O'Farrell 2014).

O grupo **SN** (exclusivo na lagoa do Paó) cuja principal espécie ocorrente foi *Cylindrospermopsis raciborskii*, possui uma alta plasticidade fenotípica associada a pigmentos,

tamanho e taxas de crescimento, sendo mais tolerante em amplo gradiente de temperatura e luz, quando comparada com a outra espécie ecologicamente similares, tais como, *Planktothrix agardhii* (Bonilla et al. 2012). O grupo funcional **H1** ocorreu em quase todos os meses na lagoa do Paó (*Dolichospermum* sp, *Cuspidotrix* sp, *Anabaenopsis* sp) representados por cianobactérias heterocitadas, está associado a ambientes eutróficos, misturados (Reynolds et al. 2002; Padisák et al. 2009).

O fósforo total, o ortofosfato, o coeficiente de atenuação de luz e a condutividade são indicadores de poluição antropogênica, que neste trabalho estiveram relacionadas à lagoa do Paó, influenciando a ocorrência dos grupos **X1**, **D** e **Lo**, comuns em águas com altas concentrações de nutrientes, representados por espécies pioneiras que investem em rápida replicação celular e nas quais os propágulos são facilmente dispersos pelo vento ou pelo corpo de outros animais como pássaros e insetos (Reynolds 1999). Lagos urbanos, sem mata ciliar, registram alto potencial de acúmulo de fósforo e nitrogênio mostrando um potencial crescimento de algas tóxicas, as quais formam uma camada na superfície da água, possibilitando o sombreamento e o aumento da turbidez, e consequente limitação por luz, constatadas também por Félix et al. 2015, na Lagoa do Paó. Além disso, a emissão de toxinas por cianobactérias, além de comprometer a qualidade da água, pode levar à contaminação biológica, a exemplo de peixes, gerando assim bioacumulação (Félix et al. 2015).

Diante disso, este estudo confirma que a composição e estrutura do fitoplâncton respondem as características físicas, químicas e biológicas, sendo a inserção em grupos funcionais uma forma eficaz em prever possíveis mudanças em seus estados de equilíbrio.

5. Considerações Finais

A composição e estrutura dos grupos funcionais responderam as diferenças nas características de Santa Lúcia e Lagoa do Paó, que embora distintos, compartilharam grupos funcionais semelhantes tais como **K**, **S1**, **X1**, **W2** e **P**. Entre os grupos funcionais exclusivos na Lagoa do Paó alguns foram compostos por cianobactérias potencialmente tóxicas (**SN**, **LO**, **H1**, **F** e **D**), não encontrados em Santa Lúcia, indicador de que a cobertura de macrófitas submersas pode funcionar como inibidora da

dominância dessas espécies, sendo os possíveis mecanismos associados a alelopatia, a diminuição na ressuspensão do sedimento, à absorção de nutrientes como fósforo, entre outros. Sendo assim, a utilização de grupos funcionais fitoplanctônicos vem sendo uma ferramenta eficaz em prever possíveis mudanças nos estados de equilíbrio em lagos rasos.

6. Agradecimentos

À Universidade Federal da Paraíba e ao Laboratório de Limnologia (UFPB/CCA) por todo amparo no fornecimento de recurso que foram necessários a produção deste trabalho.

7. Referências

- Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba, *AESA*, 2013. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=3273>> Acesso em: 06 jan. 2016.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, doi: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- APHA- American Public Health Association. Standard Methods for the examination of water and waste water. 21st ed. (2005), Washington.
- Barbosa, JEL, Medeiros ESF, Brasil J, Cordeiro RS, Crispim MCB, Silva GHG. (2012). Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnológica Brasiliensia*. V.24, n°.1, p. 103-118, ISSN 2179-975X.
- Braun-Blanquet J. (1979). *Fitosociologia: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: Blume, p.820.
- Bicudo CEM, Menezes M. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (Chave de identificação e descrições)*. São Carlos: Rima.

- Bonilla S, Aubriot L, Soares MCS, González-Piana M, Fabre A, Huszar VL, Kruk C. (2012). What drives the distribution of the bloom-forming Cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? FEMS Microbiology ecology, 79(3), 594-607.
- Blindow I, Hargerby A, Hilt S. (2014). Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. Hydrobiologia, 737:99–110, doi: 10.1007/s10750-013-1687-2.
- Canfield DE, JR JV, Shireman DE. (1984). Colle, W.T. Haller, C.E. Watkins II, AND M.J. Maceina. Prediction of chlorophyll a concentrations in lakes: The importance of aquatic macrophytes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 41:497-501.
- Coche AG. (1974). Limnological study of a tropical reservoir. In: E.K. Balon and A.G. Coche (eds.). Lake Kariba: a man-made tropical ecosystem in central Africa. The Hague, Dr. W. Junk. p. 7-247.
- COLE G. (1983). Textbook of limnology. London: The C.V. Mosby Co. 436 p. (3ª edição).
- Costa DF, Dantas EW.(2011). Diversity of community in differen urban aquatic ecosystems in metropolitan João Pessoa, state of Paraíba, Brazil. Acta Limnológica Brasilensia, p.394-405, v.223, n.4, <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975x2012005000018>.
- Cunha DGF, CALIJURI MC.(2011). Variação dos grupos funcionais fitoplactônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil). Acta Bot. Bras. v.25 n°.4, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062011000400009>.
- Crossetti LO, Becker V, Cardoso LS, Rodrigues LR, Costa LS, Marques-Motta D. (2013). Is phytoplankton functional classification a suitable tool to investigate spatial heterogeneity in a subtropical shallow lake? Limnológica, 43: 157-163,doi:10.1016/j.limno.2012.08.010.
- Dantas, EW, Oliveira-Bittencourt MC, Moura AN. (2012) Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in Northeastern Brazil assessed using Reynolds' Theory. Limnológica, 42: 72-80, DOI: 10.1016/l.limno.2011.09.002.
- Félix TR, Oliveira Neto TS, Nascimento IN, Lucena RB, Barbosa LG, Rodrigues ML, Guerra RR. (2015). Eutrophication and effects Under Fish Histology in shallow lake in semiarid of Brazil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 9(31), 668-673.

- Fonseca BM, Bicudo CEM. (2009) How importante can the presence/absence of macrophytes be in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow reservoir swith diferente trophic status? *Journal of Plankton research*, 32: 31-46, doi:10.1093/plankt/fbp107.
- Fonseca BM, Bicudo CEM. (2011). Phytoplankton seasonal and vertical variations in a tropical shallow reservoir with abundant macrophytes (Ninféias Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, 665: 229-245, doi 10.1007/s10750-011-0626-3.
- Hillebrand H, Dürselen CD, Kirschtel D, Pollinger D, Zohary T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35: 403-424.
- Izaguirre I, Allende L, Escaray R, Bustingorry J, Pérez G, Tell G. (2012). Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human- impacted shallow lakes with different stable states. *Hidrobiologia*, 698: 203-216, doi 10.1007/s10750-012-1069-1.
- Janssen ABG, Teurlincx S, An Shuqing, Janse JH, Paerl HW, Mooij WM.(2014). Alternative stable states in large shallow lakes? *Journal of Great Lakes Research*, 40: 813–826, doi:10.1016/j.jglr.2014.09.019.
- Jensen P, Jeppesen E, Olrik K, Kristensen P. (1994). Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51: 1692–1699.
- Júnior CRF, Marques DM, Collischonn W, Van Nes E. (2010). Modelagem Ecológica como Ferramenta Auxiliar para Restauração de Lagos Rasos Tropicais e Subtropicais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, pp15-25, v.15, n.2, ISSN 2318-0331.
- Kruk C, Huszar VLM, Peeters ETHM, Bonilla S, Costa L, Lurling M, Reynolds CS, Scheffer M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55:614–627, doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x.
- Lund JWG, Kipling C, Lecren ED. (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.
- May, R.M. (1977). Threshold and breaking points in ecosystems with a multiplicity of stable states. *Nature*, 269:471-7.

- Naselli-Flores L, Padisák J, Dokulil MT, Chorus I. (2003). Equilibrium/steady-state in phytoplankton ecology. *Hydrobiologia* 502: 395-403.
- Padisák, J., Crossetti, L.O.; Naselli-Flores, L. (2009). Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1-19, DOI 10.1007/s10750-008-9645-0.
- Pereira JS. 2013. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no período de cinco anos em ambiente mesotrófico (Lago das Ninfas), Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo. (Tese de doutorado), 94fls.
- Pinto PT, Ó Farrell I. Regime shifts between free-floating plants and phytoplankton: a review. *Hydrobiologia*, 740:13–24, DOI: 10.1007/s10750-014-1943-0, 2014.
- Reynolds CS (1999). Phytoplankton Assemblages in Reservoirs. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*, 439-456
- Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res*, 24, 417–428, DOI:10.1093/plankt/24.5.417, 2002.
- Reynolds CS. (2006). *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, New York. 51.
- Padisák J, Crossetti LO, Naselli-Flores L. (2009). Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1–19, doi 10.1007/s10750-008-9645-0.
- Poole HH, Atkins WRG. (1929). Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association of India*. 16: 297-324.
- Sánchez, ML, Lagomarsino L, Allende L, Izaguirre I. Changes in the phytoplankton structure in a Pampean shallow lake in the transition from a clear to a turbid regime. *Hydrobiologia*, 752:65–76, DOI: 10.1007/s10750-014-2010-6, 2015.
- Scheffer M, Van Nes EH. (2007) Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, 584: 455-466, DOI: 10.1007/s10750-007-0616-7.
- Scheffer M. (1998). *Ecology of shallow lakes*. Chapman and Hall, London.

- Sun J, Liu D. (2003). Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25: 1331-1346.
- Utermöhl H. (1958). Zur Vervollkommenung der quantitative Phytoplankton: Methodik. *Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1-38
- Wetzel, RG, Likens G E. (2000). Limnological Analyses. 3rd Edition. *Springer-Verlag*, New York. 429pp.

ANEXO

Quadro 1. Lista dos táxons e seus respectivos grupos funcionais nas duas unidades amostrais Santa Lúcia e Lagoa do Paó. (x) significa ocorrência da espécie.

	Santa Lúcia	Lagoa do Paó	Grupo funcional
Família/ Espécies			
Bacillariophyceae			
<i>Pennales</i> sp.	x		N
<i>Synedras</i> sp.	x		N
<i>Tabellaria</i> sp.		x	D
Cyanobacteria			
<i>Anabaenopsis</i> sp.		x	H1
<i>Aphanocapsa</i> sp.	x	x	K
<i>Aphanocapsa annulata</i> G.B.Mc Gregor in McGregor	x	x	K
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West	x		K
<i>Cilindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju		x	SN
<i>Chroococcus</i> sp.		x	LO
<i>Cuspidothrix</i> sp.		x	H1
<i>Dolichospermum</i> sp.		x	H1
<i>Merismopedia</i> sp.		x	LO
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	x		M
<i>Planktolymbia</i> sp.	x	x	S1
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	x	x	S1
<i>Planktotrix</i> sp.		x	S1
<i>Phormidium</i> sp.	x		S1
<i>Raphidiopsis curvata</i> F.E.Fritsch & M.F.Rich		x	SN
<i>Spirulina subsalsa</i> Oersted ex Gomont	x		S1
<i>Synechococcus</i> sp.	x		K
Chlorophyceae			
<i>Botriococcus</i> sp.		x	F
<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck	x		X1
<i>Closteriopsis</i> sp.		x	P
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák		x	X1
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	x		X1
<i>Monoraphidium</i> sp.	x	x	X1
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová		x	X1
<i>Oedogonium</i> sp.	x		TD
<i>Oocystis</i> sp1.	x		X1
<i>Oocystis</i> sp2.	x		X1
<i>Oocystis</i> sp3.	x		X1
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	x		J
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	x		J
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat		x	J
<i>Selenastrum</i> sp.		x	P
<i>Sphaerocystis</i> sp.		x	F
Euglenophyceae			

<i>Trachelomonas</i> sp.	x	x	W2
<i>Trachelomona volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	x	x	W2
<i>Trachelomona volvocinopsis</i> Svirenko	x		W2
Zignemaphyceae			
<i>Cosmarium biretum</i> Brébisson ex Ralfs	x		N
<i>Cosmarium quadrum</i> var. sublatum (Nordstedt) West & G.S.West	x		N
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	x		N
<i>Closterium lineatum</i> Ehrenberg ex Ralfs	x		P
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	x		P
<i>Cosmarium regnelli</i> Wille	x		N
<i>Cosmarium</i> sp.	x		N
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	x		P
<i>Mougeotia</i> sp.	x		TD
<i>Staurostrum taylori</i> Grönblad	x		N
<i>Spirogyra</i> sp2.	x		TD

Quadro 2. Grupos Funcionais encontrados nos dois ambientes: Santa Lúcia e Araçagi-PB caracterizados segundo Reynolds et al.,2002 e Padizák et al.,2009 e com base nas características de cada ambiente.

Grupos Funcionais	Espécies ocorrentes	Comentários segundo (Reynolds et al.,2002 e Padizák et al.,2009)
N	<i>Penalles</i> sp, <i>Cosmarium</i> spp, <i>C.biretum</i> , <i>C.quadrum</i> , <i>C.regnelli</i> , <i>Staurostrum taylori</i>	Ocorrem em ambientes oligo-mesotrófico, podendo tolerar deficiência de nutrientes. Sensíveis a pH alto.
S1	<i>Planktolyngbia</i> sp, <i>Planktotrix agardhii</i> , <i>P. zahidii</i> , <i>Phormidium</i> sp, <i>Spirulina subsalsa</i> , <i>Raphidiopsis curvata</i>	Espécies adaptadas ao sombreamento, águas quentes, rasas e alcalinas.
K	<i>Aphanocapsa annulata</i> , <i>A. delicatissima</i> , <i>Aphanocapsa</i> sp, <i>Synechococcus elongatus</i> ,	Habitam a coluna d'água rica em nutrientes em ecossistemas rasos. Sensível a mistura profunda
X1	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>monoraphidium arcuatum</i> , <i>M.contortum</i> , <i>M. griffithii</i> , <i>M. sp</i> , <i>Oocystes</i> sp	Camadas de mistura rasas em condições enriquecidas. Sensível a deficiência de nutrientes e herbivoria.
P	<i>Closterium diana</i> , <i>C. gracile</i> , <i>C. lineatum</i> , <i>C. parvulum</i> , <i>Closteriopsis</i> sp, <i>Selenastrum</i> sp	Apresenta ecologia semelhante ao grupo funcional N . No entanto, ocorrem em ecossistemas com elevado nível trófico e apresentam distribuição tanto em baixa como em média latitude. Sensível a estratificação.

W2	<i>Trachelomonas</i> sp, <i>T. volvocina</i> , <i>T. volvocinopsis</i> .	Pequenos lagos rasos meso-eutróficos. Tem preferências por ambientes ricos em matéria orgânica.
M	<i>Microscystis aeruginosa</i> .	Predominam em ecossistemas eutrófico ou hipertrófico.
TD	<i>Oedogonium</i> sp, <i>Mougeotia</i> sp, <i>Spirogyra</i> sp.	Ocorrem em águas permanentemente mesotróficas em águas de fluxo lento e com presença de macrófitas submersas.
SN	<i>Cilindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Raphidiopsis curvata</i> .	Predominam em ambientes misturados quentes.
F	<i>Botriococcus</i> sp, <i>Sphaerocystis</i> sp.	Habitam águas meso-eutróficas e com epilímnio claro.
LO	<i>Chroococcus</i> sp, <i>Merismopedia</i> sp,	Ocorre em ecossistemas rasos e profundos, com característica trófica diversa. As espécies que compõe este grupo funcional são sensíveis a mistura prolongada.
D	<i>Tabellaria</i> sp.	Ocorrem em águas turbidas, eutróficas e rasas.
H1	<i>Dolichospermum</i> sp, <i>Anabaenopsis</i> sp, <i>Cuspidotrix</i> sp.	Predominam em ecossistemas eutróficos rasos e estratificados. Sensíveis a mistura, baixas condições de luz e P.

Normas da revista Aquatic Ecology

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation..

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

Important notes: Please submit your manuscript in 11-point Times Roman. And please use double line spacing.

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

Article by DOI.

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Please note:

Tables should be submitted at the end of the manuscript, not within the text of the manuscript.

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.